

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra robotiky

Zařízení pro uchování vzorků půdy pro robot K3P4

Soil sample storage device for the robot K3P4

Student: Tomáš Poštulka

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Robert Pastor

Ostrava 2020

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra robotiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Poštulka**

Studijní program: B2341 Strojírenství

Studijní obor: 2301R013 Robotika

Téma: **Zařízení pro uchování vzorků půdy pro robot K3P4**
Soil sample storage device for the robot K3P4

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Analýza současného stavu
 - 1.1 - Přehled systémů odběru půdy.
 - 1.2 - Aktuální řešení na robotu K3P4. Jeho vlastnosti a nedostatky.
2. Specifikace požadavkového listu.
3. Návrh variant řešení. Výběr varianty.
4. Hardwarová část. Popis vybraných komponentů. Výběr podložen vhodným výpočtem.
5. Mechanická část - konstrukční návrh zařízení a rozmístění komponentů.
6. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. ELLERY, Alex. Planetary Rovers, Robotic Exploration of the Solar System London: Springer, c2016. ISBN 978-3-642-03258-5. 419 s.
2. Kárník, L., Knoflíček, R., Marcinčin, J. N. Mobilní roboty. Opava: MÁRFY SLEZSKO, 2000. 210 s. ISBN 80-902746-2-5.
3. Anderson, R.C., Jandura, L., Okon, A.B. et al. Space Sci Rev (2012) 170: 57. <https://doi.org/10.1007/s11214-012-9898-9>
4. ČSN 01 6910 Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
5. ČSN ISO 690 Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

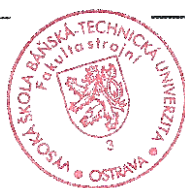
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Robert Pastor**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 18. května 2020



Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou*) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou*) práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské*) práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská*) práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. května 2020



Podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Tomáš Poštulka

Adresa trvalého pobytu autora práce: Měsíční 4, Šternberk, 785 01

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

POŠTULKA, T. *Zařízení pro uchování vzorků půdy pro robot K3P4: bakalářská práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky, 2020, 64 s. Vedoucí práce: Ing. Robert Pastor.

V této bakalářské práci jsem se zabíral konstrukčním řešením nádob pro uchování vzorku sypkého charakteru a jeho analýzou. Tyto zásobníky jsou určeny pro servisního robota K3P4, postavený a vyvíjený týmem RoverOva. Tým tvoří skupina studentů katedry robotiky.

Nejprve jsem provedl rešerši systémů, které se zabývají problematikou odběru a uchování vzorku materiálu. V návaznosti na to jsem analyzoval současný stav nádob. Zde jsem zjistil určitá omezení. Zjištěné poznatky jsem využil k návrhu 3 možných řešení. Poté jsem tyto návrhy zhodnotil a s pomocí kritériální analýzy vybral vhodnou variantu, kterou jsem dále rozpracoval až do podoby výrobních výkresů. Na konci této práce jsou kontrolní výpočty zvolených komponentů a cenový náhled na výrobu celého zařízení.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

POŠTULKA, T. *Soil sample storage device for the robot K3P4: Bachelor Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2020, 64 p. Thesis head: Ing. Robert Pastor.

In this bachelor's thesis, I dealt with the design of containers for the storage of bulk samples and its analysis. These containers are designed for the K3P4 service robot, built and developed by RoverOva team. The team consists of group of students from the Department of Robotics.

First of all, I did a research of systems that deal with the issue of sampling and storage of materials. Following this, I analyzed the current state of the containers. Based on this research I set some limitations. I used the findings to design 3 possible solutions. Then I evaluated these solutions and used criteria analysis to choose suitable variant, which I further developed and did a production drawings. In the end of this thesis, there are control calculations of selected components and a price overview of the production of the entire device.

Obsah

Slovník termínů	10
Seznam použitých značek a symbolů	11
Seznam obrázků	13
Seznam tabulek	15
Úvod	16
1 Rešerše možného způsobu odběru a uchování vzorku	17
1.1 Přehled systému odběru půdy	17
1.1.1 Lopatka - lžíce	17
1.1.2 Vrtání	18
1.1.3 Odsávání svrchních vrstev půdy - PlanetVac	18
1.2 Přehled systému pro uchování vzorku půdy	19
1.2.1 Nádobu od týmu OzU Rover 2019 ERC	19
1.2.2 Nádobu od týmu IMPULS 2019 URC	19
1.2.3 Nádobu pro rover Perseverance 2020	20
1.2.4 Uchování vzorků materiálu z Měsíce	20
1.3 Základní dělení analyzovaného materiálu (zemina)	21
1.4 Pravidla soutěže týkající se odběru povrchového vzorku	22
1.4.1 Vědecký úkol – odběr vzorku	22
1.5 Aktuální řešení nádob na vzorky na roveru K3P4	23
1.6 Specifikace nádob	25
2 Návrh 3 typů nádob na vzorky	26
2.1 Typ č. 1	26
2.2 Typ č. 2	28

2.3	Typ č. 3	30
3	Výběr optimální varianty	32
3.1	Hodnoty kritérií.....	32
3.2	Hodnotící kritéria	32
3.3	Určení významnosti	33
4	Rozpracování vybrané varianty.....	36
4.1	Elektronika.....	37
4.1.1	Senzor hmotnosti	37
4.1.2	Kapacitní snímač vlhkosti	37
4.1.3	Snímač úhlu natočení víka (Enkodér)	38
4.1.4	DC motor s planetovou převodovkou.....	38
4.1.5	Driver MAX14870	39
4.1.6	Arduino NANO	39
4.2	Hlavní komponenty nádoby.....	40
4.2.1	Viko nádoby	40
4.2.2	Ruční páka	40
4.2.3	Převod ozubeným řemenem	41
4.2.4	Napínací kladka	41
4.2.5	Hlavní nosná hřídel.....	42
4.2.6	Připojovací prvky	42
4.3	Nosná konstrukce nádob	43
5	Kontrolní výpočty	44
5.1	Kontrola motoru.....	44
5.1.1	Experimentální zjištění potřebné síly	44
5.1.2	Kontrola zvoleného motoru	47
5.2	Kontrola řemenu	49

5.3	Kontrola nosné hřídele	52
5.4	Kontrola ložisek	55
5.4.1	Ložiska na hřídeli	55
5.4.2	Ložiska na napínací kladce	55
5.5	Výpočet maximální spotřeba energie	56
6	Cenový rozpočet	57
7	Závěr	58
8	Poděkování	59
9	Seznam použitých zdrojů	60
10	Přílohy	64

Slovník termínů

Wheatstoneův můstek	Je obvod používaný především pro měření malé změny odporu.
A/D převodník	Je elektronická součástka určená pro převod spojitého (analogového) signálu na signál diskrétní (digitální).
Rozhraní I2C	Počítačová sériová sběrnice
PWM pulzy	(Pulzně šířková modulace) je diskrétní modulace pro přenos analogového signálu pomocí dvouhodnotového signálu.
Analogový výstup	Spojité signál.
DC motor	Motor fungující na stejnosměrný proud.
Driver	Elektronická součástka zajišťující řízení motoru.
ATmega328	Je jednočipový mikrořadič z rodiny mega AVR.
HTD	Označení rodiny ozubeného řemenu.
MITCalc	Výpočetní program pro konstruktéry.
D profil	Tvar na hřídeli nebo na náboji zajišťující tvarový spoj (tvarem připomíná písmo D).
Enkodér	Je elektronická součástka, která převádí polohu pohyblivé části na kombinaci elektrických binárních signálů číselně vyjadřující absolutní polohu.

Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Jednotka	Popisek
A	[m]	Vzdálenost místa působení síly F_r a středu ložiska u řemenice
b	[mm]	Šířka nádoby
B_v	[mm]	Šířka funkční plochy víka
B	[m]	Vzdálenost místa působení síly F_v a středu ložiska u řemenice
C	[m]	Vzdálenost místa působení síly F_v a středu ložiska u ruční páky
C_{oL1}	[kN]	Statická únosnost ložiska na hřídeli
C_{oL2}	[kN]	Statická únosnost ložiska napínající řemen
D	[mm]	Průměr hlavní hřídele
d	[mm]	Zmenšený průměr hřídele
F_1	[N]	Síla v zatížené větvi řemene
F_m	[N]	Zatěžující síla vypočtená z experimentálně zjištěného zatížení
F_o	[N]	Síla vyvolaná víkem na vložený vzorek
F_r	[N]	Radiální síla na hřídel od ozubeného řemene
F_{roz}	[N]	Radiální síla působící na ložisko 623 - 2Z
$F_{teoretická}$	[N]	Maximální teoretická vyvolaná síly na víku
F_v	[N]	Radiální síla na hřídeli vyvolaná momentem od víka M_{kv}
g	[m/s ²]	Gravitační zrychlení
h	[mm]	Výška nádoby
I	[A]	Ampér, jednotka proudu
i	[-]	Převodový poměr řemenového převodu
I_{12V}	[mA]	Proudový odběr jednoho zásobníku pro linku 12 V
I_{12VC}	[mA]	Proudový odběr všech zásobníků pro linku 12 V
I_{5V}	[mA]	Proudový odběr jednoho zásobníku pro linku 5 V
I_{5VC}	[mA]	Proudový odběr všech zásobníků pro linku 5 V
k_h	[-]	Bezpečnost hlavní nosné hřídele
k_{L1}	[-]	Bezpečnost ložiska 628/8 - 2Z
k_{L2}	[-]	Bezpečnost ložiska 623 - 2Z
km	[-]	Opravný koeficient pro vyloučení všechny nepřesnosti při měření
kt	[-]	Bezpečnost zvoleného DC motoru
l	[mm]	Délka nádoby
m	[kg]	Hmotnost celého zařízení
mg	[g]	Maximálního změřená hodnota zatížení teoretickém víku
M_h	[Nm]	Moment na hřídeli vyvolující sílu F_o
M_{kh}	[Nm]	Krouticího momentu na hřídeli vyvolaný motorem a převodem
M_{kv}	[Nm]	Momentová reakce víka na moment ve hřídeli
M_m	[Nm]	Stálý točivý moment na hřídeli převodovky DC motoru

Značka	Jednotka	Popisek
M_{o1}	[Nm]	První maximum ohybového momentu
M_{o2}	[Nm]	Druhé maximum ohybového momentu
M_{omax}	[Nm]	Maximální hodnota z M_{o1} a M_{o2}
n_m	[ot/min]	Jmenovité otáčky převodovky na DC motoru
P	[W]	Výkon DC motoru s planetovou převodovkou
R	[mm]	Celkový poloměr rotačního víka
R_{Ax}	[N]	Reakce v ose X v ložisku u řemenice
R_{Ay}	[N]	Reakce v ose Y v ložisku u řemenice
R_B	[N]	Reakce v ose Y v ložisku u ruční páky
R_e	[MPa]	Mez kluzu v tahu
R_{Fo}	[mm]	Rameno, na kterém působí hledaná síla F_o
T_{max}	[s]	Maximální čas uzavření nádoby
T_{min}	[s]	Minimální čas uzavření nádoby
U	[V]	Volt, jednotka napětí, základná jednotka napětí v SI
W_k	[m ³]	Modul průřezu v krutu
W_o	[m ³]	Modul průřezu v ohybu
α	[°]	Úhel mezi nulovou polohou víka a polohou víka při prvním kontaktu s tělem nádoby
β	[°]	Úhel mezi nulovou polohou víka a polohou víka při dotyku se zadní stěnou nádoby
δ	[°]	Maximální úhel opásání řemenem ložiska napínací kladky
η_{rp}	[-]	Účinnost převodu ozubeným řemenem
σ_o	[MPa]	Ohybové napětí ve hřídeli
σ_{red}	[MPa]	Redukované napětí ve hřídeli
τ_k	[MPa]	Napětí v krutu ve hřídeli

Seznam obrázků

Obrázek 1 Rover K3P4 - European Rover Challenge 2019 [2]	16
Obrázek 2 Lopatka sondy Phoenix [5]	17
Obrázek 3 Lopatka sondy Curiosity [6]	17
Obrázek 4 Dvojitá lžíce roveru K3P4 [3]	17
Obrázek 5 Vrtání do kamene – Curiosity [7]	18
Obrázek 6 Vrtání do nezpevněného materiálu – K3P4 [4]	18
Obrázek 7 Planet Vac – vyrobený kus [11]	18
Obrázek 8 Planet Vac – 3D model [10]	18
Obrázek 9 Nádoba od týmu OzU Rover 2019 ERC [12]	19
Obrázek 10 Nádoba od týmu IMPULS 2019 URC [13]	19
Obrázek 11 Koncept kapsle [14]	20
Obrázek 12 Schéma odběru kamenného vzorku [15]	20
Obrázek 13 Rentgenové snímky vzorku 73002 [17]	20
Obrázek 14 Aktuálně používané nádoby na vzorky [19]	23
Obrázek 15 Umístění držáku nádob na roveru K3P4 [3]	23
Obrázek 16 Šikmý řez nádobou typu č. 1	26
Obrázek 17 Obrázek 18 Středový řez nádobou typu č. 1	26
Obrázek 19 Řez kolmý na osu motoru nádoby č. 1	27
Obrázek 20 Nádoba typu č. 2	28
Obrázek 21 Příčný řez nádobou typu č. 2	28
Obrázek 22 Řez tělem nádoby typu č. 2	29
Obrázek 23 Pístní tělo nádoby typu č. 2	29
Obrázek 24 Nádoba typu č. 3	30
Obrázek 25 Příčný řez komorou nádoby typu č. 3	30
Obrázek 26 Převod ozubeným řemenem - nádoba typu č. 3	31
Obrázek 27 Graf váhy kritéria (významnosti)	34
Obrázek 28 Rozpracovaný návrh typu č. 3	36
Obrázek 29 Vnitřní uspořádání roz. návrhu typu č. 3	36
Obrázek 30 Řez rozpracovaným návrhem typu č. 3	36
Obrázek 31 Váhový senzor max 1 kg [21]	37
Obrázek 32 A/D převodník HX711 [22]	37
Obrázek 33 Kapacitní snímač vlhkosti [24]	37

Obrázek 34 Magnetický bezkontaktní enkodér obr. č. 1 [26]	38
Obrázek 35 Magnetický bezkontaktní enkodér obr. č. 2 [27]	38
Obrázek 36 DC motor s planetovou převodovkou [29]	38
Obrázek 37 Driver MAX14870 [32]	39
Obrázek 38 Arduino NANO [33]	39
Obrázek 39 Otočné víko obr. č. 1	40
Obrázek 40 Otočné víko obr. č. 2	40
Obrázek 41 Ruční páka obr. č. 1	40
Obrázek 42 Ruční páka obr. č. 2	40
Obrázek 43 Převod ozubeným řemenem	41
Obrázek 44 Napínací kladka řemenu	41
Obrázek 45 Řez napínací kladkou	41
Obrázek 46 Nosná hřídel	42
Obrázek 47 Připojovací systém nádob	42
Obrázek 48 Nosná konstrukce nádob	43
Obrázek 49 Umístění celého systému	43
Obrázek 50 Znázornění tlačné síly vyvozené víkem	44
Obrázek 51 Nahrazení víka vetknutým nosníkem	44
Obrázek 52 Jednotlivé vzorky půdy	45
Obrázek 53 Kuchyňská váha během měření potřebného zatížení	46
Obrázek 54 Pozice víka	48
Obrázek 55 Kontrola řemene – zadání parametrů provozu	49
Obrázek 56 Grafické porovnání řemenů rodiny HTD	49
Obrázek 57 Zadání parametrů ozubených řemenic	50
Obrázek 58 Výsledky provedené kontroly	50
Obrázek 59 Základní rozměry ozubených řemenic č.1	51
Obrázek 60 Základní rozměry ozubených řemenic č.2	51
Obrázek 61 Znázornění působících a reakčních sil	52
Obrázek 62 Zeslabení hřídele D profilem na průměr $d = 6,5 \text{ mm}$	53

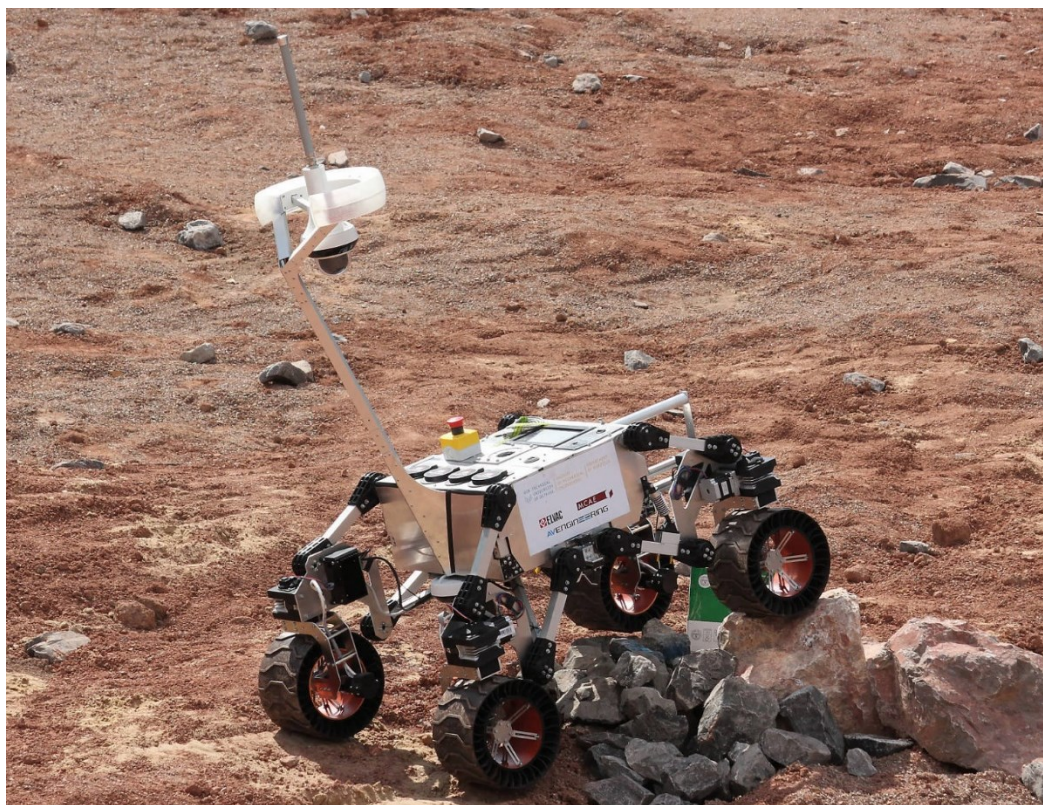
Seznam tabulek

Tabulka 1 Hodnocení kritérií	32
Tabulka 2 Jednotlivá kritéria a jejich charakteristika.....	32
Tabulka 3 Parametry jednotlivých návrhů nádob a jejich vyhodnocení	32
Tabulka 4 Určení významnosti jednotlivých kritérií – Tomáš Poštulka.....	33
Tabulka 5 Určení významnosti jednotlivých kritérií – Petr Rais	33
Tabulka 6 Určení významnosti jednotlivých kritérií – Michal Piňos	33
Tabulka 7 Vážený index Typ č. 1	34
Tabulka 8 Vážený index Typ č. 2	35
Tabulka 9 Vážený index Typ č. 3	35
Tabulka 10 Parametry stejnosměrného motoru s planetovou převodovkou [30].....	38
Tabulka 11 Parametry převodu [35].....	41
Tabulka 12 Tabulka změřených zatížení.....	46
Tabulka 13 Parametry pohonu víka	47
Tabulka 14 Pozice víka	48
Tabulka 15 Parametry hřídele přenesené na nosník.....	52
Tabulka 16 Hodnoty spotřeby proudu pro jeden zásobník	56
Tabulka 17 Cenový náhled.....	57

Úvod

V této bakalářské práci se budu zabírat konstrukčním řešením nádob pro uchování vzorku sypkého charakteru a jeho analýzou. Tyto zásobníky jsou určeny pro servisního robota K3P4 (viz. Obrázek 1). Rover je postaven na čtyřkolovém podvozku, doplněný o rameno s pěti stupni volnosti. Na projektu roveru spolupracuje tým RoverOva tvořený skupinou studentů z katedry robotiky a pravidelně se s ním účastní mezinárodní soutěž European Rover Challenge.

Nádoby musí splňovat určité parametry zadané pravidly soutěže [1]. Dalším omezením konstrukce budou požadavky týmu RoverOva a požadavky ze zadání bakalářské práce. Jedná se například o požadavky na počet nádob, nebo objem nádoby pro vzorek. Požadavky a omezení týkající se těchto zásobníků jsou rozebrány v požadavkovém listu v pozdější kapitole.



Obrázek 1 Rover K3P4 - European Rover Challenge 2019 [2]

1 Rešerše možného spôsobu odběru a uchování vzorku

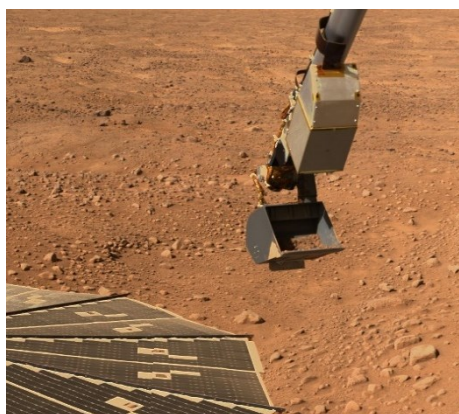
Před započítím konstrukčních prací jsem provedl průzkum možného řešení odebírání a skladování vzorku půdy (sypkého materiálu).

1.1 Přehled systému odběru půdy

Pro odběr vzorku půdy v kosmickém průmyslu se používají různá zařízení od obyčejných lopatek umístěných na robotickém rameni až po systémy připomínající vysavač. Některé z nich si zde představíme.

1.1.1 Lopatka - lžíce

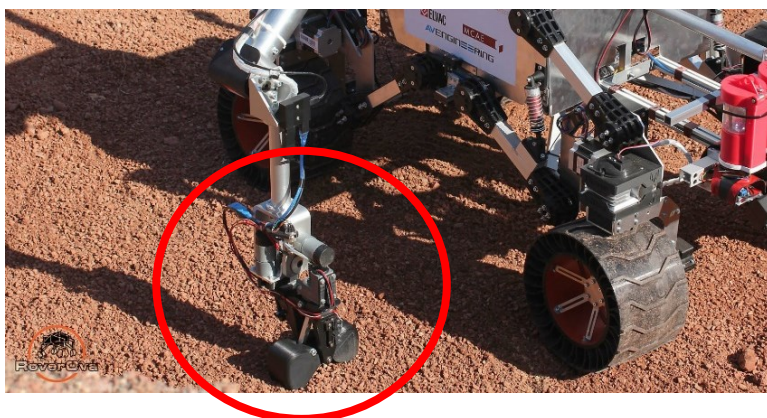
Jedná se o velmi jednoduchý způsob odběru půdy ze zkoumaného tělesa, ať už jde o planetu, asteroid nebo kometu. Lopatku lze umístit na rameno roveru nebo přímo na určitou část sondy. Lopatka se může lišit tvarem nebo počtem lžic. Příkladem je i nyní používaná dvojitá lžíce na roveru K3P4. (viz. Obrázek 4)



Obrázek 2 Lopatka sondy Phoenix [5]



Obrázek 3 Lopatka sondy Curiosity [6]



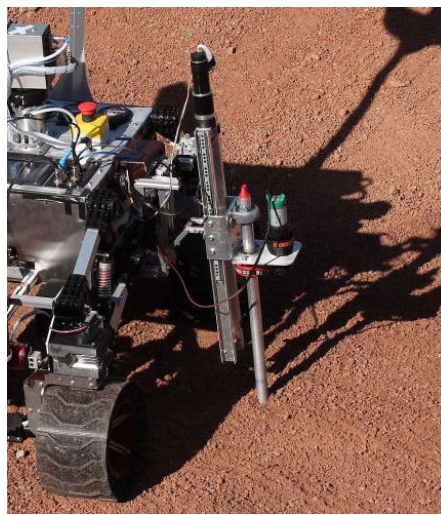
Obrázek 4 Dvojitá lžíce roveru K3P4 [3]

1.1.2 Vrtání

Jednou z dalších možností je vrtání. Samotné vrtání lze rozdělit na dva základní typy. První typ je vrtání do zpevněné horniny (do kamene) (viz. Obrázek 5). Druhý typ je vrtání do nezpevněného materiálu (sypký materiál) (viz. Obrázek 6). Důvodem pro vrtání může být například získání vzorku, který není ovlivněn atmosférickými vlivy. Hlavním faktorem konstrukce vrtací hlavičky je její tuhost. Vrtací hlavičky většinou bývá doplněna o zařízení pro odebrání odvrtného materiálu. [8]



Obrázek 5 Vrtání do kamene – Curiosity [7]



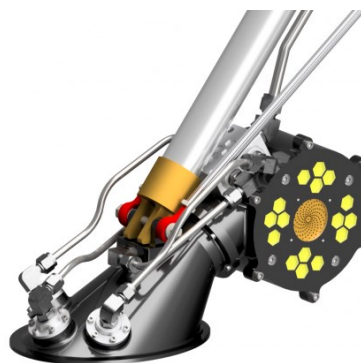
Obrázek 6 Vrtání do nezpevněného materiálu – K3P4 [4]

1.1.3 Odsávání svrchních vrstev půdy - PlanetVac

PlanetVac (viz. Obrázek 7) je pneumtický systém od společnosti Honeybee Robotics k získávání povrchových vzorků. Jakmile je celý systém v kontaktu s povrchem, proud stlačeného plynu natlačí povrchový prach a menší kameny do zásobníku. Zde se provede analýza získaného vzorku, nebo jen uskladnění pro případnou cestu zpět na zemi. Jediné, co systém vyžaduje, je sypký povrchový materiál a přívod stlačeného plynu. V ideální konfiguraci je možné PlanetVac namontován přímo na nohu sondy. [9]



Obrázek 7 Planet Vac – vyrobený kus [11]



Obrázek 8 Planet Vac – 3D model [10]

1.2 Přehled systému pro uchování vzorku půdy

V této kapitole se zaměřím na přehled systémů použitých pro uchování odebraného vzorku. Součástí těchto nádob je většinou i několik senzorů pro analýzu odebraného materiálu. V mém případě to budou senzory pro zjištění váhy, vlhkosti a objemu vloženého materiálu.

1.2.1 Nádobá od týmu OzU Rover 2019 ERC

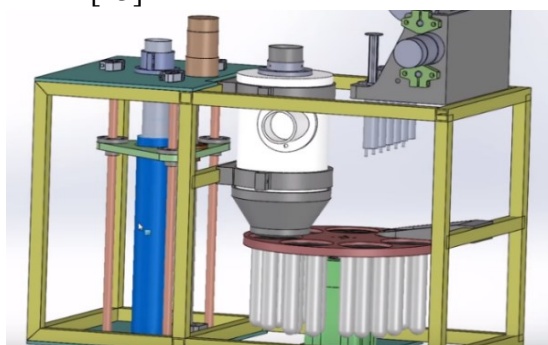
Tento tým vytvořil velice jednoduchý systém pro uchování odebraného vzorku. Jak můžete vidět níže (viz. Obrázek 9) je složen ze tří komor. Každá komora je dostatečně velká, aby pojala odebraný vzorek. Uzavírání nádoby je řešeno otočným víkem. Pootočení víka je dosaženo díky servomotoru umístěného ve středu víka. Největší výhodou tohoto systému je jeho velice jednoduchý princip. [12]



Obrázek 9 Nádobá od týmu OzU Rover 2019 ERC [12]

1.2.2 Nádobá od týmu IMPULS 2019 URC

Dalším systémem je zařízení od týmu IMPULS. Tato konstrukce (viz. Obrázek 10) je určena pro soutěž URC (University Rover Challenge). Na této soutěži je součástí analýzy vzorku, také zjištění, zda ve vzorku byl nebo je život. Proto je také konstrukce značně složitější. Systém je založen na podtlakovém odsávání svrchních vrstev půdy do zásobníků. Ty jsou umístěny na otočném stole. Po nasání vzorku do nádob se stůl pootočí a tím zajistí uzavření vzorku v nádobkách. [13]



Obrázek 10 Nádobá od týmu IMPULS 2019 URC [13]

1.2.3 Nádoba pro rover Perseverance 2020

Během svého hledání jsem narazil na zajímavou informaci ohledně chystané mise na Mars v roce 2020. Tato mise počítá s odebráním několika vzorků a jejich zanecháním na určité pozici na Marsu. Tyto vzorky budou následujícími misemi dopraveny na planetu Zemi. Na Obrázek 11 můžete vidět předběžný návrh kapsle pro uchování vzorku. Tento návrh je nejnovější mě známý návrh uvedený společností NASA (25. 2. 2020). Kapsle se skládá z vrtáku na jedno použití, který lze přirovnat ke korunkovým vrtákům. Odvrtané kamenné jádro zůstane uvnitř vrtáku. Vrták s materiálem se zapečetí do obalu (nádobky) a následně vloží do kontejneru. Kontejner pojme 31 vzorků, které chrání před povětrnostními podmínkami planety Mars. [15]



Obrázek 11 Koncept kapsle [14]



Obrázek 12 Schéma odběru kamenného vzorku [15]

1.2.4 Uchování vzorků materiálu z Měsíce

Během misí Apollo, bylo na Měsíci odebráno několik jádrových vzorků. Tyto vzorky byli ještě na povrchu Měsíce vakuově zaizolovány a následně dopraveny na zemi k bližšímu zkoumání. Každý vzorek měl asi 800 g a byl uzavřen v odběrném válcovitém nástroji, který byl při výstupu do volného prostoru zavrtán do regolitu (materiál tvořící povrch Měsíce). Na níže uvedeném obrázku 13 jsou zobrazeny rentgenové snímky téhož odběrového válce. Nahoře vidíme rentgenový mikro tomografický snímek vzorku s označením 73002 z roku 2019. Dole je rentgenový snímek stejného vzorku pořízený v roce 1972. [16]



Obrázek 13 Rentgenové snímky vzorku 73002 [17]

1.3 Základní dělení analyzovaného materiálu (zemina)

Zemina (půda) je termín, který se používá v inženýrsko-geologické klasifikaci hornin. Je založen na strukturní soudržnosti hornin a rozlišuje horniny na několik typů. Obsah jednotlivých prvků v běžné půdě nebo zemině je kolísavý dle lokality. Dá se obecně říct, že významné zastoupení mají v půdě prvky: křemík, hliník, uhlík, vápník a další. Z inženýrského a stavebního hlediska jsou důležité mechanické vlastnosti zeminy příkladem je únosnost – schopnost nést stavby (únosnost zemin je možné zvyšovat hutněním). [18]

1) Základní dělení [18]:

- a) horniny zpevněné (vyvřelé, sedimentární anebo metamorfované),
- b) skalní,
- c) polo skalní – mají nižší soudržnost – příklad uhlí,
- d) horniny nezpevněné (zeminy) – dále dělíme na:
 - 1. soudržné – jíl,
 - 2. nesoudržné – písek, štěrk,
 - 3. organické – rašelina,
 - 4. umělé – skládky, navážky.

2) Klasifikace zemin z hlediska struktury [18]:

Zeminy se skládají z pevných částic, vody a vzduchových mezer. Z hlediska struktury se zeminy dělí podle velikosti pevných částic, a to na:

- a) jemnozrnné (jednotlivé částice nelze spatřit pouhým okem),
- b) jíly (velikost částic do 0,002 mm),
- c) hlíny (velikost částic 0,002 až 0,06 mm),
- d) hrubozrnné (velikost částic lze spatřit pouhým okem),
- e) písek (velikost částic 0,06 až 2 mm),
- f) štěrk (velikost částic 2 až 60 mm),
- g) valouny (velikost částic 60 až 300 mm),
- h) balvany (velikost částic více než 300 mm).

Klasifikace se může mírně odlišovat v jednotlivých zemích či dle různých autorů. [18]

1.4 Pravidla soutěže týkající se odběru povrchového vzorku

Níže je uveden volný překlad pravidel vydaných organizátory soutěže European Rover Challenge. Originální znění pravidel můžete najít na stránkách soutěže ERC[1].

1.4.1 Vědecký úkol – odběr vzorku

Cílem úlohy je získat vzorky povrchových a podpovrchových vrstev půdy. Vzorky jsou odebírány z různých míst. Rover by měl být schopen posoudit kvalitu vzorku a uložit jej do zásobníku (kapsle, kontejneru). Zásobníky musí být odnímatelné od roveru (zejména jako ukázka mise odeslání vzorků zpět na Zemi). Protože podmínky odběru vzorků a samotný ekosystém se mohou výrazně lišit od laboratorních podmínek, je nezbytné zabránit jakékoli vnější kontaminaci. Celý odběr vzorků musí být dokumentován (fotograficky), a to před, během i po odběru vzorků. [1]

Technologické priority [1]:

A. Ukládání do nádob

- 1) dodávka – kvalita operace přepravující vzorek z místa odběru vzorků do kontejneru,
- 2) přesnost umístění – přesné dávkování vzorků do kontejneru a kontrolovaným způsobem,
- 3) kvalita konstrukce těsnění kontejneru,
- 4) přesnost konstrukce kontejneru s ohledem na skutečné požadavky mise.

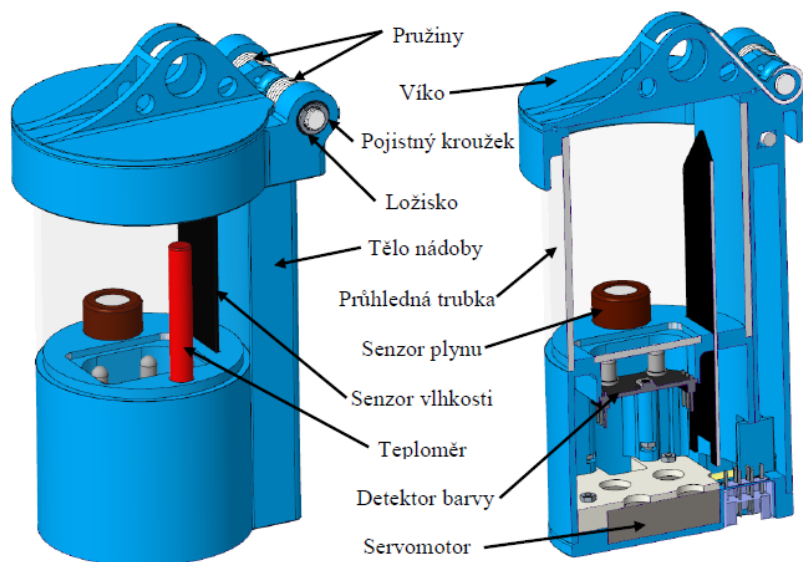
B. Analýza / zpracování vzorků uvnitř nádoby:

- 1) účinnost a kvalita vlastních řešení pro vzorek analýza / zpracování,
- 2) přesnost navrhovaných řešení, pokud jde o skutečné požadavky na misi,
- 3) výkon (energie, škálovatelnost, doba provozu).

Obecně platí, že vzorky odebrané z hlubších vrstev jsou cennější kvůli povětrnostním podmínkám na povrchu tělesa (efekty zvětrávání povrchu se objevují také na tělesech bez atmosféry v důsledku např. slunečního záření). Komplikovanost laboratorního vybavení roveru je omezeno hmotností, objemem a požadavkem na energii. [1]

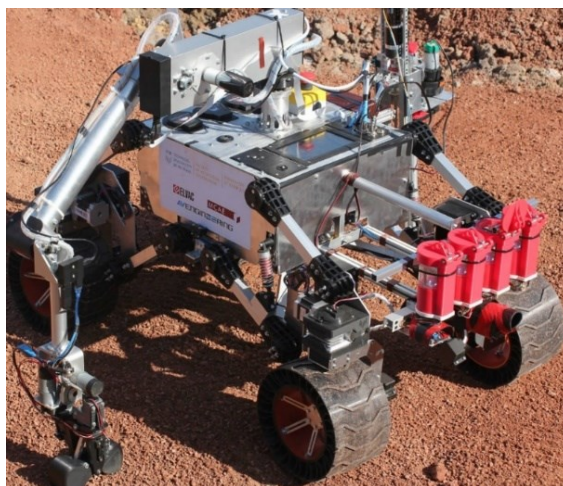
1.5 Aktuální řešení nádob na vzorky na roveru K3P4

Aktuální typ zásobníků se skládá ze čtyř od sebe oddělených zásobníků (viz. Obrázek 14). Každý zásobník je odnímatelný a obsahuje několik základních senzorů pro měření předem zvolených veličin.



Obrázek 14 Aktuálně používané nádoby na vzorky [19]

Uzavírání nádoby je řešeno odklápěcím víkem, které je dotlačováno do uzavřeného stavu pružinou. Otvírání bylo řešeno malým navijákem a ocelovým lankem. O pohon navijákového bubnu se staral malý servomotor. Zásobníky byly umístěny na jednoduchém držáku sestaveném z hliníkových profilů. Tenzometry využívané pro měření váhy vzorku byli pevně připojeni ke konstrukci držáku. Držák (viz. Obrázek 15) spolu se zásobníky byl umístěn na přední straně roveru těsně před předními koly. [19]



Obrázek 15 Umístění držáku nádob na roveru K3P4 [3]

Pohon navijákového bubnu, jak již jsem zmínil, zajišťuje malý servomotor. Ten je díky svým dobrým zástavbovým rozměrům vhodný do tohoto systému. To se bohužel během testování ukázalo jako špatná volba. Důvodem byly rozdíly mezi informacemi poskytnutými výrobcem a skutečnými parametry. Z tohoto důvodu zásobníky nepracovaly správně. Další nevýhodou se stal problém se zavíráním. Ve chvíli, kdy se nádoba přeplnila, pružina nebyla dostatečně silná, aby víkem nádobu uzavřela. Další tentokrát menší komplikací se stalo vedení kabeláže. Důvodem bylo společné Arduino pro všechny zásobníky. Bylo tedy potřeba svést všechny kabely od všech senzorů do jednoho místa. Velkou výhodou těchto zásobníků je jejich kompaktnost. Jejich zástavbové rozměry jsou (průměr x šířka – max. výška) 60 x 70 – 150 mm.

Shrnutí výhod a nevýhod konstrukce

Výhody

- Jednoduchá konstrukce
- Malé zástavbové rozměry
- Možnost otevřít nádobu i bez potřeby zdroje energie
- Malá celková hmotnost

Nevýhody

- Špatné výkonnostní hodnoty servomotoru
- Při přeplnění nádoby pružina nedokázala víko dovřít
- Velké množství kabeláže
- Nedostatečné spojení nádoby s držákem

1.6 Specifikace nádob

Na základě provedené rešerše, požadavků soutěže [1] a zadání bakalářské práce byly specifikovány tyto podmínky a omezení:

- a) Celý systém se bude skládat z tři zásobníků
- b) Nádoby na vzorky musí být odnímatelné
- c) Do zásobníku se musí vejít 100 g vzorku
- d) Nádoby musí být uzavíratelné a schopny udržet vzorek půdy v jakékoliv orientaci (zajistit izolaci odebraného vzorku od okolí)
- e) Zamezení vzájemnému promíchání jednotlivých vzorků mezi sebou nebo jejich záměně
- f) Jednotlivé zásobníky budou obsahovat snímače pro měření určených veličin
 - Hmotnost
 - Vlhkost
 - Objem
- g) Dodržení připojovacích rozměrů držáku zásobníků na rover K3P4
- h) Jednotlivé zásobníky budou umístěny v navrhovaném držáku

Technické detaily:

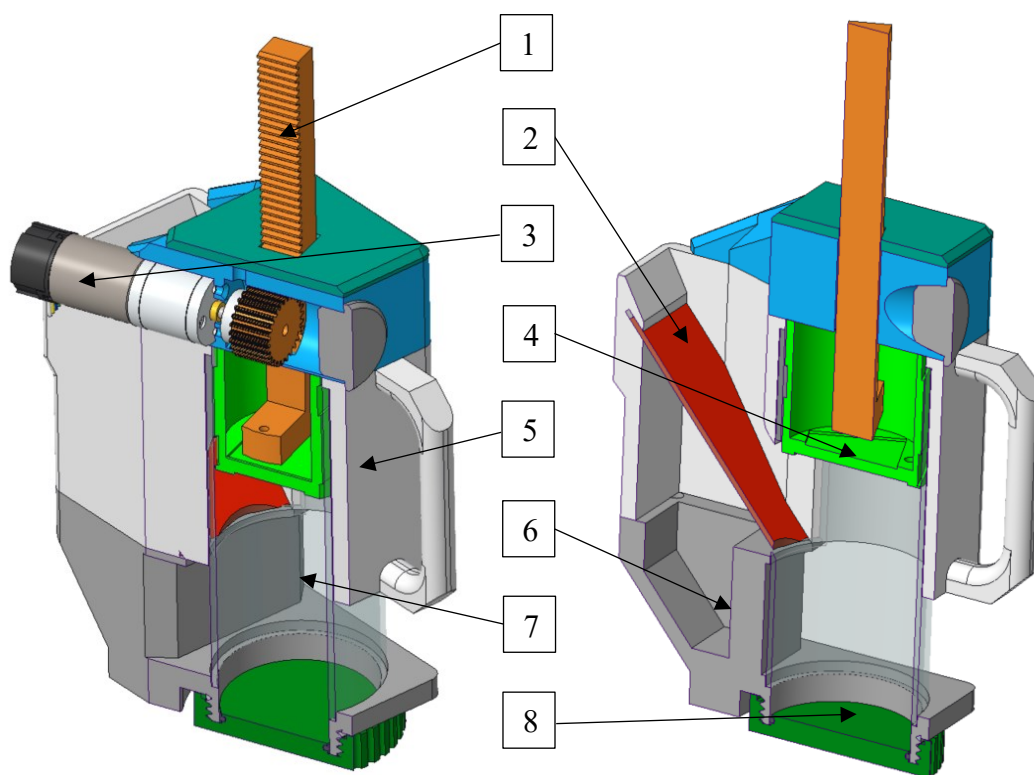
- Hmotnost jednoho vzorku od 50 do 200 g
- Maximální hmotnost zařízení 3 kg
- Možné napájecí napětí 5/12/24 V
- Cenové rozpětí celého systému 7 – 9 tisíc korun.

2 Návrh 3 typů nádob na vzorky

Pro konstrukční návrh jednotlivých variant jsem použil program PTC Creo 5.0.4.0.

2.1 Typ č. 1

První systém je navržen jako malý lis (viz. Obrázek 16, 17) Tímto řešením lze minimalizovat vliv velkého množství proměnných. Měření vlhkosti bude provedeno odporovým snímačem vlhkosti. Tento snímač bude umístěn v hlavě pístu (4). Zjišťování objemu je řešeno na principu měření výšky hladiny ve válci. Enkodér umístěný na DC motoru s planetovou převodovkou nám poskytne informaci o počtu vykonaných otáček hřídele motoru do chvíle, než píst stlačí vložený vzorek. Kvůli použití enkodéru je potřeba zajistit snímání koncových poloh. Snímání nulové (horní) polohy zajistím jednoduchým mikrospínačem. Koncovou (dolní) polohu budu snímat proudovým snímačem. Důvodem je skokové zvýšení odebíraného proudu při zatížení motoru. Rotační pohyb výstupní hřídele z převodovky motoru se s pomocí ozubeného hřebene převádí na přímočarý pohyb. Ten zajišťuje pohyb pístu v komoře. Posledním parametrem je hmotnost vloženého vzorku půdy. Hmotnost se bude zjišťovat hmotnostním snímačem umístěným pod nádobou.

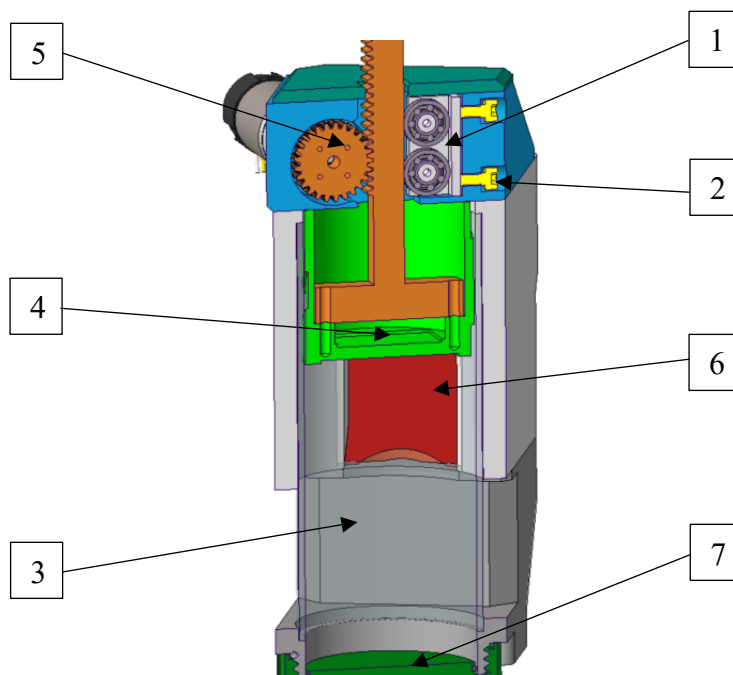


Obrázek 16 Šikmý řez nádobou typu č. 1

Obrázek 17 Středový řez nádobou typu č. 1

č. 1 – Ozubený hřeben, č. 2 – Skluz, č. 3 – DC motor s enkodérem a planetovou převodovkou, č. 4 – Píst, č. 5 – Tělo nádoby, č. 6 – Spodní část těla nádoby, č. 7 – Komora zásobníku, č. 8 – Víčko

Tělo je tvořeno několika částmi. Materiál se do komory dostane skrze skluz z leštěného plechu. Samotná komora je tvořena trubicí z plexiskla. Tento materiál jsem zvolil ze dvou důvodů. Plexisklo je průhledné, díky tomu lze materiál zkoumat opticky bez potřeby vyjmutí z nádoby. Druhým faktorem je nízký koeficient tření. Získáme tak plynulý pohyb pístu. Samotná nosná konstrukce bude vyrobena tiskem na 3D tiskárně. Dopínání ozubeného hřebenu je zajištěno speciálním přípravkem doplněného o kuličková ložiska.



Obrázek 19 Řez kolmý na osu motoru nádoby č. 1

č. 1 – Speciální přípravek a kuličková ložiska, č. 2 – Napínací šroub, č. 3 – Komora zásobníku, č. 4 – Píst, č. 5 – Spolu zabírající ozubený hřeben a ozubené kolo, č. 6 – Skluz z leštěného plechu, č. 7 – Spodní víko nádoby,

Výhody:

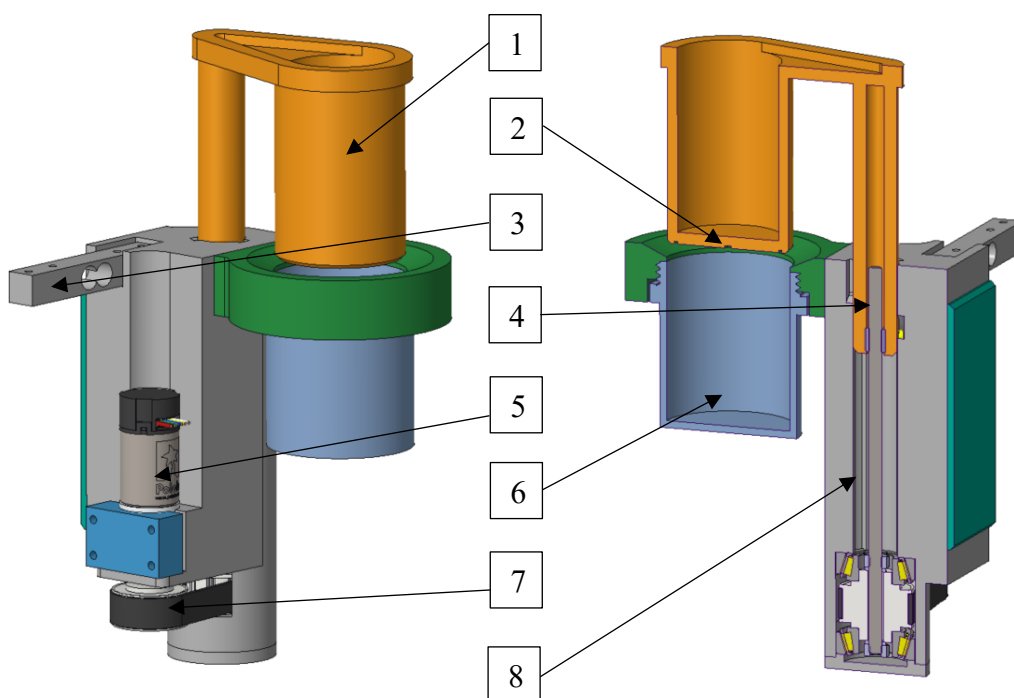
- Robustní konstrukce
- Přesné měření všech zadaných veličin
- Funkčnost zajištěna i při zhoršených podmínkách (př. vlhká půda)

Nevýhody:

- Vyšší hmotnost
- Větší zástavbové rozměry
- Složitější konstrukce
- Menší prostor pro vsypání materiálu

2.2 Typ č. 2

Druhý typ konstrukce (viz. Obrázek 20, 21) funguje na podobném principu jako u nádoby Typu č. 1. Velkým rozdílem je, že díky výklopnému pístu je přímý přístup do komory (6). Jako hlavní princip se využívá speciální drážky (8) pro vedení pístu. Dá se říct, že se využívá tzv. čtvrtinového závitu. Tato drážka zajišťuje přímý pohyb při pohybu v komoře a otočný (o 90°) při pohybu mimo komoru. Samotný pohyb zajišťuje pohybový šroub (4) v kombinaci s převodem ozubeným řemenem (7) a DC motorem s enkodérem. Díky tomu opět získám velmi přesné měření objemu vsypaného vzorku. Měření vlhkosti je řešeno odporovým snímačem (2) umístěným v hlavě pístu. Měření hmotnosti odebraného vzorku je provedeno snímačem hmotnosti (5) umístěným na horní straně těla nádoby.



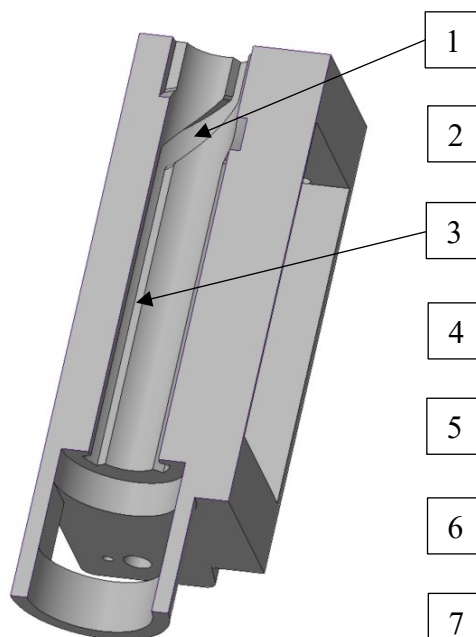
Obrázek 20 Nádoba typu č. 2

Obrázek 21 Příčný řez nádobou typu č. 2

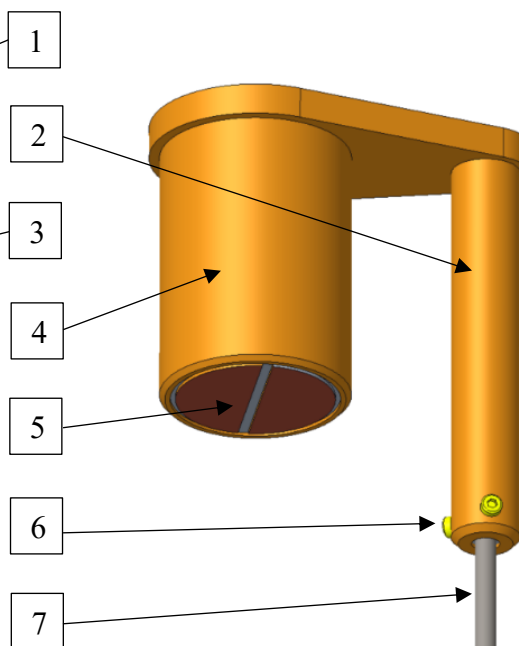
č. 1 – Pístní tělo, č. 2 – Odporový vlhkoměr, č. 3 – Senzor hmotnosti, č. 4 – Pohybový šroub, č. 5 – DC motor s enkodérem a planetovou převodovkou, č. 6 – Odnímatelná nádoba na vzorek (komora), č. 7 – Převod ozubeným řemenem, č. 8 – Vodící drážka

Systém neobsahuje manuální vysunutí pístu bez použití motoru. Z tohoto důvodu je samotná nádoba na odebraný vzorek (komora) odnímatelná. Pro rychlé a jednoduché vyjmutí vzorku z nádoby jsem použil standartní metrický závit. Opět je využito pro výrobu hlavních částí tohoto systému 3D tisk. Pohybový šroub je upnut mezi dvě kuželíková ložiska. Díky tomu je zajištěn přenos všech reakčních sil na rám celého systému.

Vodící drážka je vytvořena v těle systému a jako protikus jsem využil hlavy šroubu s vnitřním šestihranem. Šroub se v drážce pohybuje s malou vůlí, tím je zajištěna funkčnost.



Obrázek 22 Řez tělem nádoby typu č. 2



Obrázek 23 Pístní tělo nádoby typu č. 2

č. 1 – Drážka závitového tvaru, č. 2 – Vodící válec, č. 3 – Přímá část vodící drážky, č. 4 – Píst
 č. 5 – Odporový vlhkoměr, č. 6 – Šroub s vnitřním šestihranem použitý jako vodící člen,
 č. 7 – Pohybový šroub

Výhody:

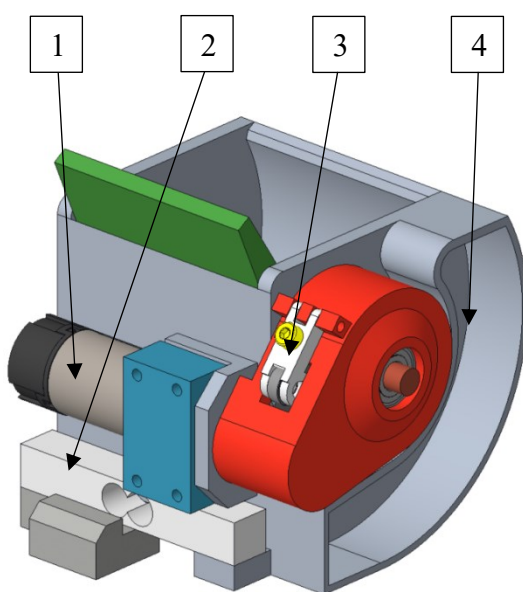
- Robustní konstrukce
- Přesné měření všech zadaných veličin
- Vyšší vyvozená síla pístem na odebraný vzorek
- Funkčnost zajištěna i při zhoršených podmínkách (př. vlhká půda)
- Jednoduché vyjmutí vzorku z nádoby
- Přímé vsypávání vzorku do komory

Nevýhody:

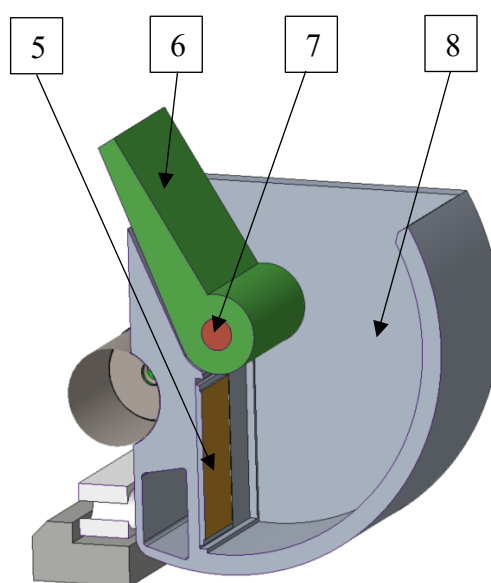
- Vyšší hmotnost
- Větší zástavbové rozměry
- Složitá konstrukce
- Možná deformace pístního těla

2.3 Typ č. 3

Třetí způsob (viz. Obrázek 24, 25) je navržen jako zásobník s otočným víkem. Víko plní dvě primární funkce: uzavření nádoby a stlačení vsypaného materiálu. Tím je opět zajištěno minimalizování velkého množství nežádoucích vlivů. Dále jsem se snažil o maximální minimalizaci nádoby s důrazem na celkovou jednoduchost systému. O pohon víka se stará DC motor s planetovou převodovkou a enkodérem. Pro přenos krouticího momentu z motoru na hřídel je použit ozubený řemen napínaný malou kladkou. Měření hmotnosti je zajištěno hmotnostním snímačem umístěným na zadní straně nádoby. K měření vlhkosti je použit odporový snímač vlhkosti. Ten jsem umístil do vnitřní stěny komory.



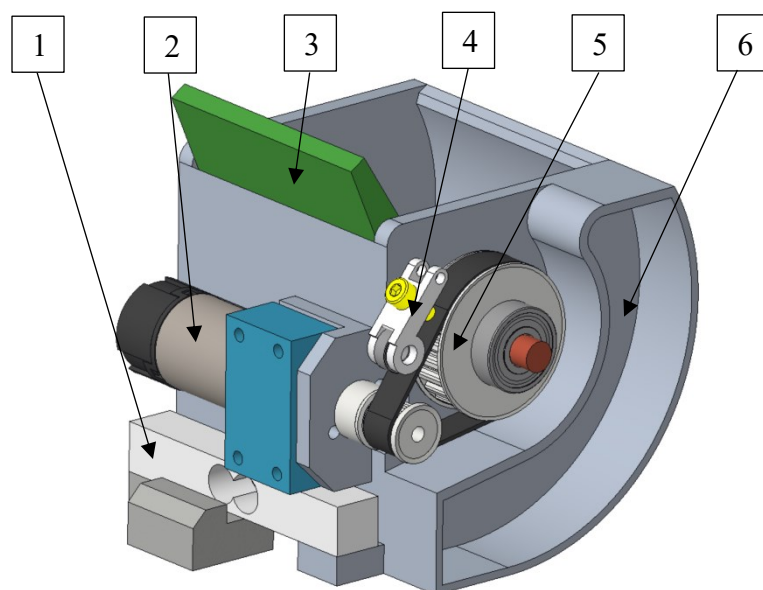
Obrázek 24 Nádobu typu č. 3



Obrázek 25 Příčný řez komorou nádoby typu č. 3

č. 1 – DC motor s enkodérem a planetovou převodovkou, č. 2 – Senzor hmotnosti, č. 3 – Napínací kladka ozubeného řemenu, č. 4 – Prostor pro elektroniku č. 5 – Odporový vlhkoměr, č. 6 – Otočné víko, č. 7 – Nosná hřídel, č. 8 – Komora nádoby

Nádobu lze otevřít i manuálně bez potřeby připojeného zdroje. K otevření je potřeba přetlačit nebržděný DC motor s planetovou převodovkou. Většina částí bude vyrobena 3D tiskem. Důvodem je velká členitost konstrukce a možnost vnitřního odlehčení volbou vnitřní struktury tisku. Objem komory je dostatečně velký, aby pojal okolo 300 g materiálu (zeminy). Přenos z nosné hřídele na uzavírací víko je založeno na lepeném spoji. Díky tomu dosáhneme dostatečné tuhosti celého mechanismu.



Obrázek 26 Převod ozubeným řemenem - nádoba typu č. 3

č. 1 – Váhový senzor, č. 2 – DC motor s enkodérem a planetovou převodovkou, č. 3 – Otočné víko, č. 4 – Napínací kladka, č. 5 – Ozubená řemenice, č. 6 – Tělo nádoby

Výhody:

- Robustní konstrukce
- Přesné měření všech zadaných veličin
- Funkčnost zajištěna i při zhoršených podmínkách (př. vlhká půda)
- Větší objem komory
- Přímý přístup do komory

Nevýhody:

- Možná deformace víka
- Možné selhání lepeného spoje
- Možná deformace napínací kladky

3 Výběr optimální varianty

Pro výběr vhodné varianty nádoby jsem použil kritériální analýzu. Tato analýza využívá k posouzení návrhu hodnotící kritéria (viz. Tabulka 2). Celkem jsem použil 6 kritérií. Návrh nádoby na vzorky tak lze jednoduše posoudit.

3.1 Hodnoty kritérií

Pro ohodnocení kritérií jsem použil pětibodové ohodnocení (viz. Tabulka 1).

Tabulka 1 Hodnocení kritérií

Význam hodnocení	Hodnota
Výborný stav	1
Dobrá stav	2
Průměrný stav	3
Nízký stav	4
Nevyhovující stav	5

3.2 Hodnotící kritéria

Níže uvedených šest kritérií jsem zvolil, protože se domnívám, že mají největší vliv na výběr optimální varianty.

Tabulka 2 Jednotlivá kritéria a jejich charakteristika

Kritérium		Charakteristika kritéria
K1	Předběžná cena zásobníku	Cena všech použitých prvků na jedné nádobě
K2	Složitost konstrukce	Počet částí systému a jejich výrobní náročnost
K3	Objem nádoby	Množnost materiálu, které lze umístit do nádoby
K4	Celková hmotnost (bez vzorku)	Maximální hmotnost celé nádoby
K5	Přesnost měření objemu	Odhadovaná přesnost měření objemu
K6	Zástavbové rozměry (b x h - l) [mm]	Maximální rozměry celé nádoby

V níže uvedené tabulce jsou přehledně zapsány parametry jednotlivých typů nádob a jejich hodnocení dle hodnotících kritérií.

Tabulka 3 Parametry jednotlivých návrhů nádob a jejich vyhodnocení

Kritérium	Typ č. 1	Hodnocení typ č. 1	Typ č. 2	Hodnocení typ č. 2	Typ č. 3	Hodnocení typ č. 3
K1	1960,-	3	1910,-	3	1840,-	2
K2	23 ks	3	25 ks	3	19 ks	2
K3	až 146cm ³ (250 g)	2	až 162cm ³ (274 g)	2	až 200 cm ³ (330 g)	1
K4	580 g	3	830 g	4	610 g	3
K5	±1,2 cm ³ (±1,8 g)	2	±0,6 cm ³ (±1 g)	1	±0,6 cm ³ (±1 g)	1
K6	97,5 x 273 - 160	3	141 x 266 - 141	3	115 x 111 - 110	2

3.3 Určení významnosti

Určení významnosti (váha kritéria) je velmi důležitá část výběru vhodné varianty. Říká nám, jak zásadní vliv by měl mít určitý parametr na výsledný výběr. Určení významnosti provedly tři osoby včetně mě. První zde uvedenou tabulku významností jsem vypracoval já osobně. Druhou tabulku vyhodnotil Petr Rais a třetí Michal Piňos. Jednotlivé významnosti se následně sečtou a vyhodnotí v následujících tabulkách.

Tabulka 4 Určení významnosti jednotlivých kritérií – Tomáš Poštulka

Porovnávání kritérií					Počet voleb	Váha kritéria q	Pořadí	Kritérium
K1	K1	K1	K1	K1	1	1	6	K1
K2	K3	K4	K5	K6				
	K2	K2	K2	K2	2,5	1,6	3	K2
	K3	K4	K5	K6				
		K3	K3	K3	1,5	1,2	5	K3
		K4	K5	K6				
			K4	K4	3,5	1,8	2	K4
			K5	K6				
				K5	4	2	1	K5
				K6	2	1,4	4	K6

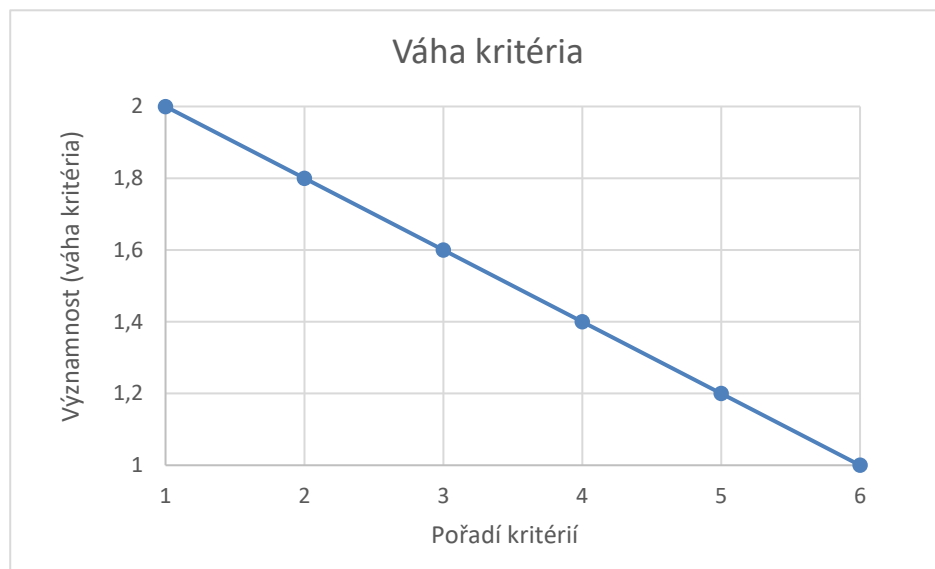
Tabulka 5 Určení významnosti jednotlivých kritérií – Petr Rais

Porovnávání kritérií					Počet voleb	Váha kritéria q	Pořadí	Kritérium
K1	K1	K1	K1	K1	1	1	6	K1
K2	K3	K4	K5	K6				
	K2	K2	K2	K2	2,5	1,4	4	K2
	K3	K4	K5	K6				
		K3	K3	K3	1,5	1,2	5	K3
		K4	K5	K6				
			K4	K4	3,5	1,8	2	K4
			K5	K6				
				K5	4,5	2	1	K5
				K6	3	1,6	3	K6

Tabulka 6 Určení významnosti jednotlivých kritérií – Michal Piňos

Porovnávání kritérií					Počet voleb	Váha kritéria q	Pořadí	Kritérium
K1	K1	K1	K1	K1	2,5	1,4	3	K1
K2	K3	K4	K5	K6				
	K2	K2	K2	K2	3	1,2	2	K2
	K3	K4	K5	K6				
		K3	K3	K3	2	1,6	4	K3
		K4	K5	K6				
			K4	K4	1,5	1,8	5	K4
			K5	K6				
				K5	5	2	1	K5
				K6	1	1	6	K6

Při přiřazení hodnoty 1 pro nejméně důležitý parametr a hodnoty 2 pro nejvíce důležitý, lze získat i hodnoty pro zbylé pořadí. Pro větší přehlednost jsem tyto hodnoty vynesl do grafu níže.



Obrázek 27 Graf váhy kritéria (významnosti)

V závěrečném vyhodnocení jsou hodnoty významnosti všech tří hodnotitelů zprůměrovány. Konečný vážený index jsem získal vynásobením průměrné hodnoty významnosti a hodnocení kritérií jednotlivých nádob. Typ zásobníku s nejnižší hodnotou celkového váženého indexu je mnou hledaná varianta.

Tabulka 7 Vážený index Typ č. 1

Kritérium	Hodnocení	q č. 1	q č. 2	q č. 3	Průměrné q	vážený index
K1	3	1	1	1,4	1,13	3,40
K2	3	1,6	1,4	1,2	1,40	4,20
K3	2	1,2	1,2	1,6	1,33	2,67
K4	3	1,8	1,8	1,8	1,80	5,40
K5	2	2	2	2	2,00	4,00
K6	3	1,4	1,6	1	1,33	4,00
Celkem						23,67

Tabulka 8 Vážený index Typ č. 2

Kritérium	Hodnocení	q č. 1	q č. 2	q č. 3	Průměrné q	vážený index
K1	3	1	1	1,4	1,13	3,40
K2	3	1,6	1,4	1,2	1,40	4,20
K3	2	1,2	1,2	1,6	1,33	2,67
K4	4	1,8	1,8	1,8	1,80	7,20
K5	1	2	2	2	2,00	2,00
K6	3	1,4	1,6	1	1,33	4,00
Celkem						23,47

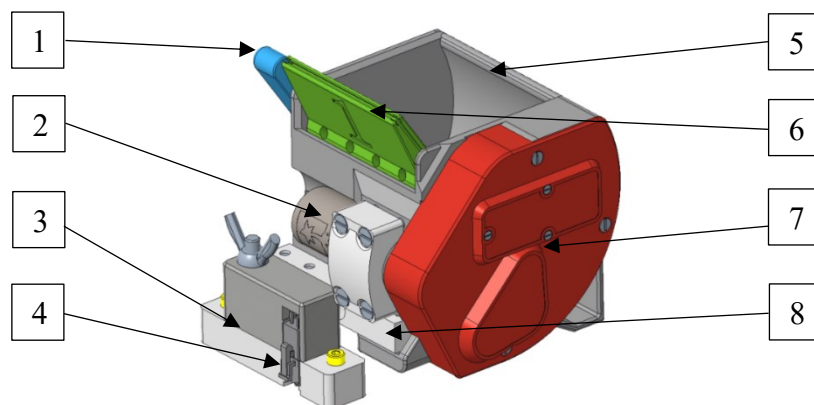
Tabulka 9 Vážený index Typ č. 3

Kritérium	Hodnocení	q č. 1	q č. 2	q č. 3	Průměrné q	vážený index
K1	2	1	1	1,4	1,13	2,27
K2	2	1,6	1,4	1,2	1,40	2,80
K3	1	1,2	1,2	1,6	1,33	1,33
K4	3	1,8	1,8	1,8	1,80	5,40
K5	1	2	2	2	2,00	2,00
K6	2	1,4	1,6	1	1,33	2,67
Celkem						16,47

Dle celkového váženého indexu je vidět že nejlépe vyhodnocenou variantou je Typ č. 3. Tato varianta bude dále rozpracována a zkontrolována kontrolními výpočty.

4 Rozpracování vybrané varianty

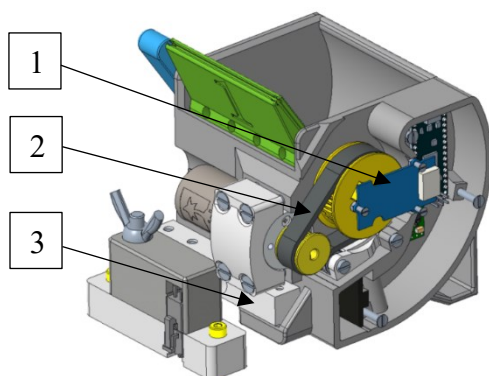
Vybranou variantu jsem dále rozpracoval (viz. Obrázek 28). Systém jsem doplnil o manuální páku pro usnadnění otevírání nádoby bez zdroje elektrické energie. Dále jsem provedl změny ve spoji hřídele s víkem. Zde jsem namísto lepeného spoje využil tvarový spoj (D profil). Ten ve spojení se šrouby uvnitř víka zajistí maximální přenos krouticího momentu. Stejný princip je použit i u manuální páky a u obou ozubených řemenic.



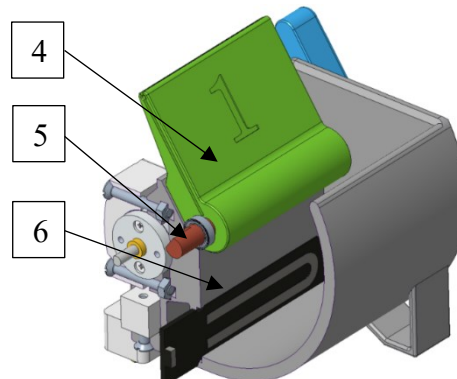
Obrázek 28 Rozpracovaný návrh typu č. 3

č. 1 – Manuální páka, č. 2 – DC motor s planetovou převodovkou, č. 3 – Připojovací prvky, č. 4 – Propojovací konektory, č. 5 – Tělo nádoby, č. 6 – Otočné víko, č. 7 – Víko chránící elektroniku a převod ozubeným řemenem, č. 8 – Senzor hmotnosti

Měření hmotnosti zůstalo zachované z původního návrhu, použil jsem stejný senzor hmotnosti. Pro měření vlhkosti jsem zvolil kapacitní vlhkoměr. Důvodem je vyšší přesnost měření a lepší odolnost senzoru. Princip měření objemu zůstal zachován, jen s menší úpravou. Použil jsem bezkontaktní magnetický snímač natočení hřídele. Tím minimalizuji nepřesnost vzniklou v celkovém převodu (planetová převodovka a převod ozubeným řemenem)



Obrázek 29 Vnitřní uspořádání roz. návrhu typu č. 3



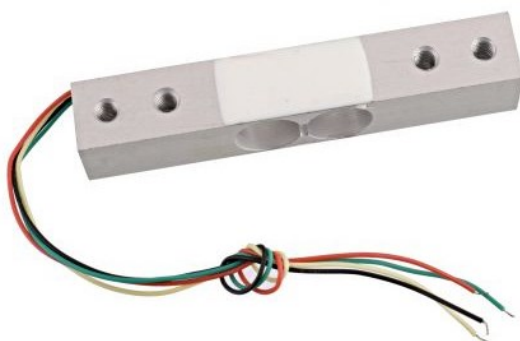
Obrázek 30 Řez rozpracovaným návrhem typu č. 3

č. 1 – Magnetický enkodér, č. 2 – Převod ozubeným řemenem, č. 3 – Senzor hmotnosti, č. 4 – Otočné víko, č. 5 – Hlavní nosná hřídel, č. 6 – Kapacitní vlhkoměr,

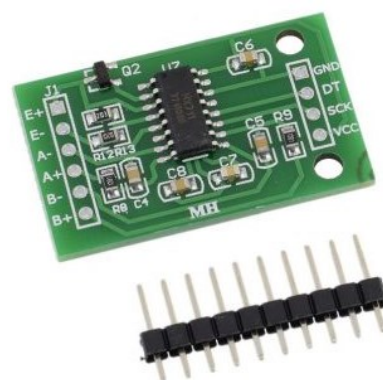
4.1 Elektronika

4.1.1 Senzor hmotnosti

Použil jsem snímač (viz. Obrázek 31) využívající k měření hmotnosti dva tenzometry umístěné na nosníku. Tyta dva tenzometry jsou zapojeny jako Wheatstoneův můstek se čtyřmi vývody. Snímač je dimenzován pro zatížení od 0 do 1 kg. Tenzometr je standartě připojován k řídící jednotce přes A/D převodník, ten slouží k zesílení signálu a k jeho převodu z analogového na digitální signál. Já použiji A/D převodník HX711 (Obrázek 32). [23]



Obrázek 31 Váhový senzor max 1 kg [21]



Obrázek 32 A/D převodník HX711 [22]

4.1.2 Kapacitní snímač vlhkosti

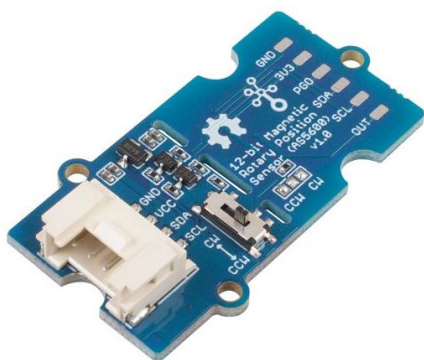
Kapacitní snímač vlhkosti (viz. Obrázek 33) je velmi přesný a odolný. Nejčastěji se používá v systému automatického zavlažování. Veškerá elektronika a samotná měřicí část se nachází na jedné desce plošného spoje. Deska je také z většiny pokryta antikorozním lakem, který by ji měl ochránit před degradací. Výstupní informací je pak proměnný analogový výstup. [25]



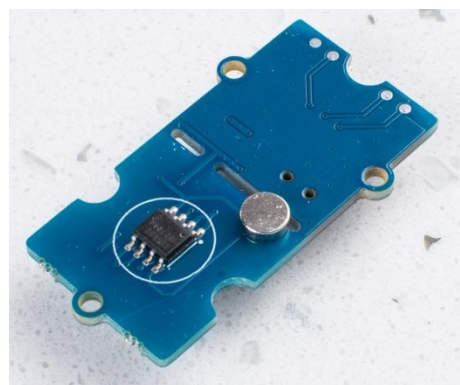
Obrázek 33 Kapacitní snímač vlhkosti [24]

4.1.3 Snímač úhlu natočení víka (Enkodér)

Senzor AS5600 (viz. Obrázek 34) je založen na hallovém efektu, vestavěné hallové čidlo dokáže detekovat směr magnetického pole. Díky tomu je rozsah měření celých 360°. Informace o směru magnetického pole je zesílena zesilovačem zabudovaným přímo v senzoru. Enkodér je schopen snímat 4 096 pozic na jedno otočení. Výstupní veličina je volitelná, můžeme použít rozhraní I2C, PWM pulzy nebo analogový výstup. Mezní úhel je také programovatelný, můžete nastavit maximální úhel od 18 ° do 360 °, což znamená, že změřená úhlová přesnost je až 18°/4 096. [28]



Obrázek 34 Magnetický bezkontaktní enkodér obr. č. 1 [26]



Obrázek 35 Magnetický bezkontaktní enkodér obr. č. 2 [27]

4.1.4 DC motor s planetovou převodovkou

Stejnoseměrný motor (Obrázek 36; Tabulka 10) má integrovanou planetovou převodovku s převodovým poměrem 227:1. Tento převod zajistí vyšší krouticí moment a nižší otáčky výstupní hřídele. Tuhost převodu zajistí víko proti samovolnému otevření. [30]

Tabulka 10 Parametry stejnosměrného motoru s planetovou převodovkou [30]



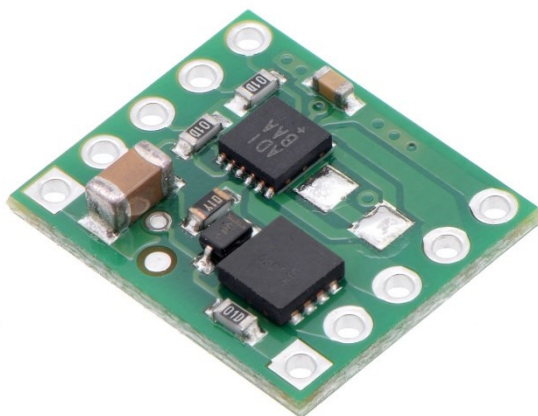
www.pololu.com

Velikost	Ø25 x 56 mm
Váha	94 g
Průměr hřídele	4 mm
Převodový poměr	226,76: 1
Jmenovité otáčky	$n_m = 23 \text{ ot / min}$
Stály proud	1,1 A
Stály napětí	12 V
Stály točivý moment	$M_m = 1,667 \text{ Nm}$

Obrázek 36 DC motor s planetovou převodovkou [29]

4.1.5 Driver MAX14870

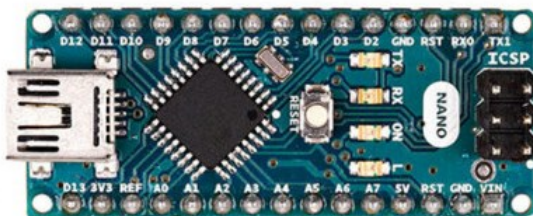
Driver MAX14870 (viz. Obrázek 37) může dodávat nepřetržitý proud 1,7 A, maximálně však 2,5 A, jednomu stejnosměrnému motoru. S rozsahem provozního napětí od 4,5 V do 36 V. Driver má vestavěnou ochranu proti podpětí, nadproudu a přehřátí. Tento driver je dobrým řešením pro napájení malého nízkonapětového motoru. Plošný spoj je vybaven 10 piny, které usnadňují použití se standardními nepájenými deskami. [31]



Obrázek 37 Driver MAX14870 [32]

4.1.6 Arduino NANO

Arduino NANO (viz. Obrázek 38) je mikrokontrolérová vývojová deska založená na čipu ATmega328. Arduino NANO používám jako prostředníka mezi hlavním Arduinem a jednotlivými senzory. Díky tomu lze testovat nádoby samostatně. Deska obsahuje 22 digitálních vstupních / výstupních pinů (z toho může být 6 použito jako výstupy PWM), 8 analogových vstupů, 16 MHz krystal, napájecí konektor a resetovací tlačítko. Obsahuje vše potřebné k provozu mikrokontroléru, jednoduše jej lze připojit k počítači pomocí USB kabelu. Váha mikrokontroléru je 7 g. [34]



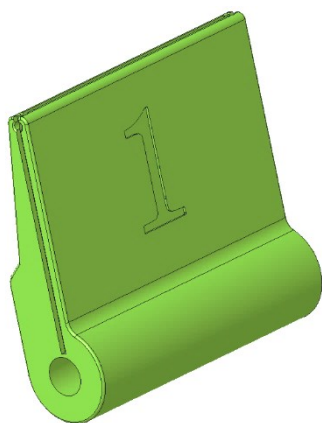
Obrázek 38 Arduino NANO [33]

4.2 Hlavní komponenty nádoby

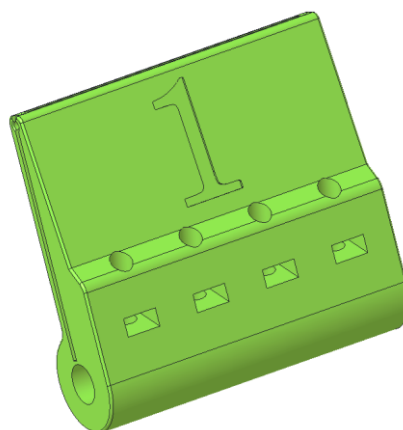
4.2.1 Víko nádoby

Víko nádoby (viz. Obrázek 39, 40) plní hned několik úkolů současně. Prvním úkolem je zajistit uzavření nádoby v jakékoli orientaci. Dalším úkolem je odměření objemu vzorku současně s jeho stlačením. Samotné stlačení zajišťuje minimalizaci vzduchu v sytkém materiálu. Tím zvyšuje přesnost měření objemu.

Přenos krouticího momentu z hřídele na samotné víko, je zajištěno čtyřmi stavěcími šrouby a D profilem na hřídeli. Šrouby jsou doplněny o matice umístěné v předpřipraveném prostoru ze zadní strany víka. Číselné označení nádob z přední i zadní strany slouží k rozlišení nádob mezi sebou. Aby nedošlo k záměně vzorku z různých míst. Do drážek umístěných na bocích víka bude umístěna gumová nebo plstěná stěrka. Stěrka zajistí maximální těsnost nádoby.



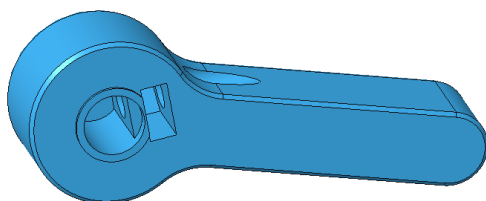
Obrázek 39 Otočné víko obr. č. 1



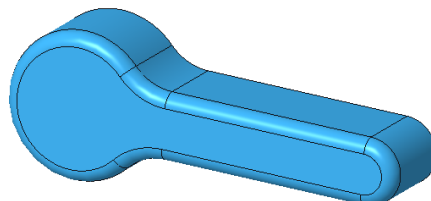
Obrázek 40 Otočné víko obr. č. 2

4.2.2 Ruční páka

Ruční páka (viz. Obrázek 41, 42) je umístěna z boku nádoby a slouží k manuálnímu otevření víka ve chvílích kdy samotná nádoba není připojena ke zdroji napájení. Spojení je opět řešeno stavěcím šroubem a D profilem na hřídeli.



Obrázek 41 Ruční páka obr. č. 1

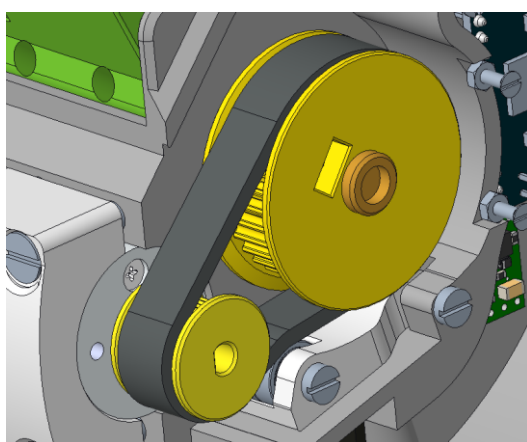


Obrázek 42 Ruční páka obr. č. 2

4.2.3 Převod ozubeným řemenem

Pro minimalizaci celého systému jsem motor a samotnou hřídel spojil ozubeným řemenem. (viz. Obrázek 43) Díky tomu může být motor umístěn rovnoběžně s hřídelí na zadní stěny nádoby. Vhodný řemen jsem vybral s pomocí programu MITCalc. Typ ozubeného řemene jsem zvolil HTD [35] s roztečí 3 mm a šířkou řemenu 9 mm. Spojení hřídele s ozubenou řemenicí je zajištěno v obou případech D profilem pojištěným stavěcím šroubem. Do ozubených řemenic jsem vložil matice, a to z důvodu použití 3D tisku. Vyřezaný zavit by neměl dostačující pevnost.

Tabulka 11 Parametry převodu [35]

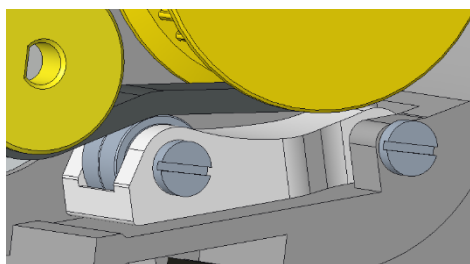


Obrázek 43 Převod ozubeným řemenem

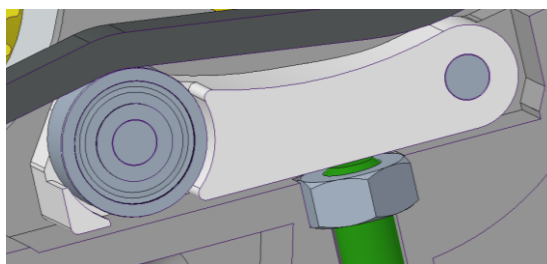
Parametry převodu	
Hnací řemenice	16 zubů, HTD 3M
Hnaná řemenice	34 zubů, HTD 3M
Řemen	48 zubů, HTD 3M Šířka 9 mm
Převodový poměr	$i = 2,125$

4.2.4 Napínací kladka

Napínací kladka se skládá z několika částí. Hlavní dvě části jsou tělo napínací kladky a kuličkové ložisko [37]. Celá kladka se otáčí kolem šroubu umístěném na konci kladky a je tlačena stavěcím šroubem ze spodní stěny (viz. Obrázek 45). Díky tomu vzniká pákový efekt, který napíná ozubený řemen.



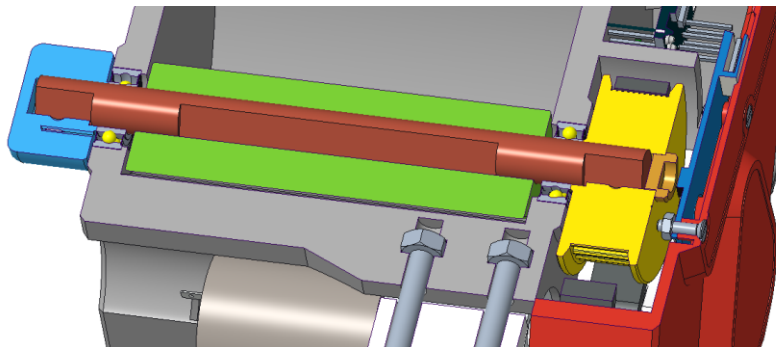
Obrázek 44 Napínací kladka řemenu



Obrázek 45 Řez napínací kladkou

4.2.5 Hlavní nosná hřídel

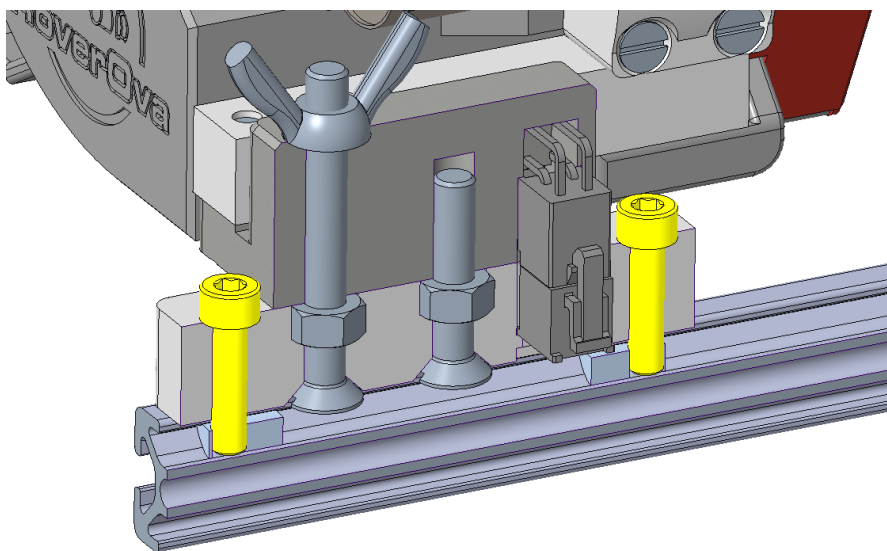
Tato hřídel (viz. Obrázek 46) je velice jednoduchého tvaru. Prochází celým zásobníkem a je upevněna v těle nádoby s využitím kuličkových ložisek. Pro dobrou spolehlivost je hřídel vyrobena z materiálu S355J0 (ČSN 11 523.1). V hřídeli je vytvořen 3x D profil. Ten zajišťuje přenos krouticího momentu.



Obrázek 46 Nosná hřídel

4.2.6 Připojovací prvky

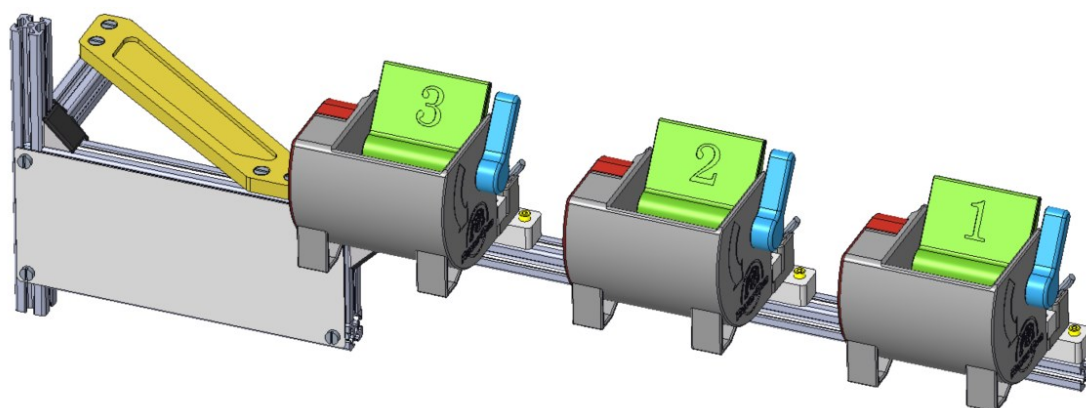
Skládají se ze dvou částí. První část je připojena k nosnému rámu držáku nádob. Druhá část je umístěna na konci hmotnostního senzoru nádoby. Spojení zajišťuje šroub M6. Ten prochází oběma prvky a s pomocí křídlové matice vytváří dobře rozebíratelný spoj. V obou částech je umístěn konektor propojující samotnou nádobu s roverem.



Obrázek 47 Připojovací systém nádob

4.3 Nosná konstrukce nádob

Nosná konstrukce nádob (držák nádob) je složen z několika hliníkových profilů od společnosti Item. (viz. Obrázek 48) Tento typ konstrukce jsem zvolil především kvůli rychlé a jednoduché montáži. Jako spojovací člen mezi nosníky, jsem zvolil úhelníky, od stejného výrobce, přímo navržené pro zvolené nosníky. Na hlavním nosníku jsou rozmístěny jednotlivé zásobníky. Od každého zásobníku vede kabeláž do zakrytované části. Zde se nachází Arduino, které vytváří prostředníka mezi hlavním počítačem roveru a jednotlivými nádobami.



Obrázek 48 Nosná konstrukce nádob

Umístění celého systému je z přední strany roveru. Umístění lze vidět na obrázku níže. Nosná konstrukce je připojena k rámu roveru třemi šrouby.



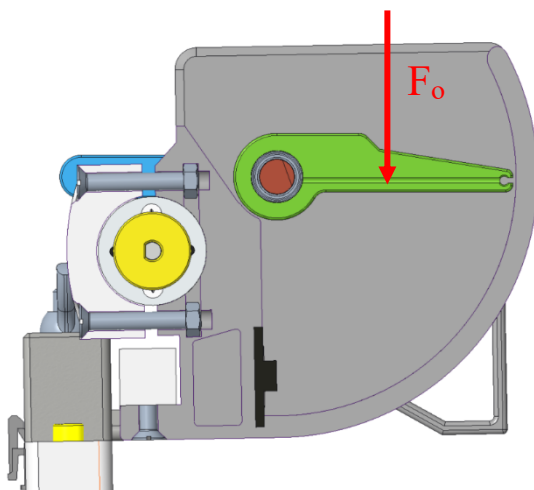
Obrázek 49 Umístění celého systému

5 Kontrolní výpočty

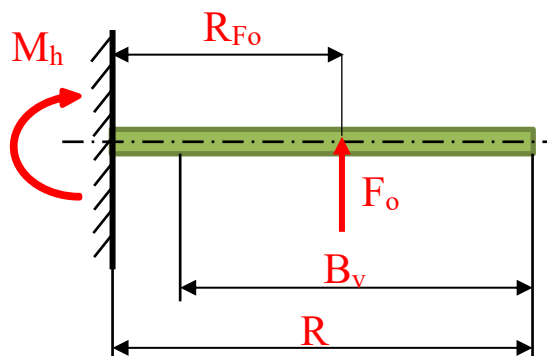
5.1 Kontrola motoru

5.1.1 Experimentální zjištění potřebné síly

Pro správné fungování celé soustavy je nutné použít dostatečně silný motor. Bohužel v mém případě neznám potřebnou sílu (viz. Obrázek 50), kterou má víko vyvolat. Důvodem volby dostatečně silného motoru je minimalizace vzduchových mezer v sypaném materiálu. Proto jsem navrhl jednoduchý experiment pro zjištění právě této síly. Pro zjednodušení uvažuji sílu působící kolmo na plochu ve střední vzdálenosti od hřídele. Samotná plocha víka, která vytváří tlak na vzorek, má rozměry 42 x 68 mm. Víko si nahradím vetknutým nosníkem (viz. Obrázek 51), na který působí hledaná působící síla a moment na hřídeli.



Obrázek 50 Znárodnění tlačné síly vyvozené víkem



Obrázek 51 Nahrazení víka vetknutým nosníkem

Kde:

Hledaná zatěžující síla

$$F_o = [\text{N}]$$

Rameno, na kterém působí hledaná síla

$$R_{F_o} = 34 \text{ mm}$$

Šířka funkční plochy víka

$$B_v = 42 \text{ mm}$$

Celkový poloměr rotačního víka

$$R = 55 \text{ mm}$$

Moment na hřídeli vyvozující sílu F_o

$$M_h = 3,47 \text{ Nm}$$

Experiment spočívá v provedení měření potřebného zatížení, pro částečné stlačení volně vsypaného materiálu. V mém případě částečné stlačení znamená, že volně vsypaný materiál vytvoří souvislou rovinu. Plochu víka nahradím destičkou o shodných rozměrech. Potřebné zatížení budu měřit na kuchyňské váze.

Postup práce:

- 1) Odeberu 6 různých vzorků půdy (viz. Obrázek 52) o přibližně stejném objemu.
- 2) Vzorek vysypu z nádoby do připravené krabičky a umístím na digitální váhu. Provedu zvažení vzorku. Následně vynuluji digitální váhu.
- 3) Předem připravenou destičkou o daných rozměrech (42 x 68 mm) tlačím na vzorek, dokud se nevytvoří souvislá plocha. Zapišu maximální změřenou hmotnost zobrazenou na váze (viz. Obrázek 53).
- 4) Materiál přesypu zpět do nádoby. Měření opakuji 5x pro každý vzorek
- 5) Hodnoty zatížení pro jednotlivé materiály zprůměruji. Nejvyšší průměrná hodnota je mnou hledané minimální zatížení, které musí víko vyvolat na vzorek materiálu.

Vybrané vzorky:

Vzorek č. 1 – písek jemnozrný (křemičitý) – vysoká vlhkost vzorku

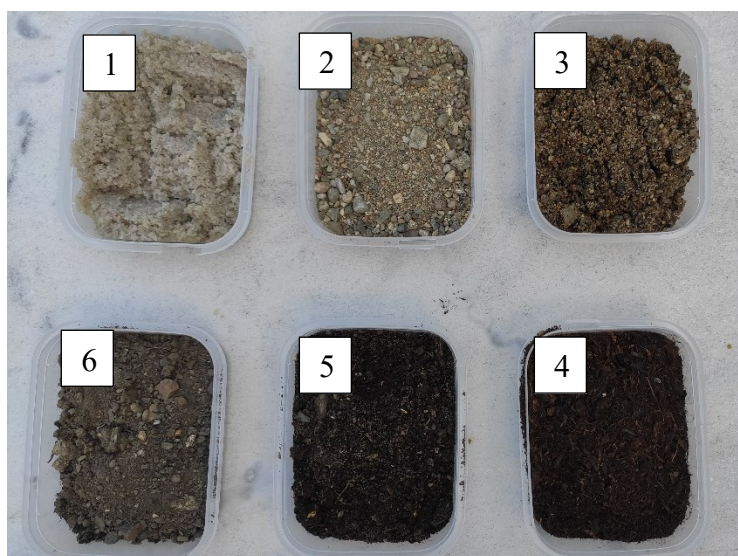
Vzorek č. 2 – písek hrubozrný (křemičitý) – suchý vzorek

Vzorek č. 3 – písek hrubozrný (křemičitý) – vysoká vlhkost vzorku

Vzorek č. 4 – zahradní substrát – nízká vlhkost vzorku

Vzorek č. 5 – hlína zahradní – vysoká vlhkost vzorku

Vzorek č. 6 – hlína zahradní – suchý vzorek



Obrázek 52 Jednotlivé vzorky půdy

Pomůcky a měřidla:

- a) nádoby se vzorky půdy
- b) kuchyňská váha Fagor Rc-100
standartní nosnost 5 kg lze přetížit až na 7 kg bez větší chyby měření
- c) Destička (shodné rozměry s funkční plochou víka) 42 x 68 mm



Obrázek 53 Kuchyňská váha během měření potřebného zatížení

Zapsané hodnoty zatížení:

Tabulka 12 Tabulka změřených zatížení

vzorek	Váha [g]	Potřebné zatížení plochy pro vyrovnaní všech nerovností [g]					
		Měření č. 1	Měření č. 2	Měření č. 3	Měření č. 4	Měření č. 5	Průměrné zatížení
č. 1	164	3216	3254	3306	3244	3228	3249,6
č. 2	176	4254	4185	4307	4253	4316	4263
č. 3	184	4816	4716	4680	4767	4784	4752,6
č. 4	42	1874	1942	2076	1986	1965	1968,6
č. 5	102	5385	5185	5236	5284	5215	5261
č. 6	106	3228	3482	3073	3124	3236	3228,6
Maximální zatížení m =						5261 g	

Hodnotu maximálního zatížení převedu na zatěžující sílu:

$$F_m = m_g * g = 5,261 * 9,81 = 51,610 \text{ N} \quad (1)$$

Abych vyloučil všechny nepřesnosti při měření, zvýším zatěžující sílu F_m na jeden a půl násobek původní hodnoty. Toto zvýšení zapisuji jako opravný koeficient $k_m = 1,5 [-]$

$$F_o = k_m * F_m = 1,5 * 51,610 = 77,416 \text{ N} \quad (2)$$

Výsledná minimální hodnota zatěžující síly je $F_o = 77,4216 \text{ N}$.

5.1.2 Kontrola zvoleného motoru

Zvolený motor [30] zkontroluji, zda dokáže vyvinout dostatečný krouticí moment. V mém případě беру čas uzavření nádoby jako irelevantní. Důvodem je, že nebyly stanoveny žádné nároky na čas uzavření. I z praktického hlediska je tento údaj nevýznamný. Není rozdíl mezi uzavřením nádoby za jednu sekundu, nebo za deset. Proto budu kontrolovat pouze krouticí moment vyvinutý motorem. (viz. Tabulka 10, Tabulka 11)

Tabulka 13 Parametry pohonu víka

Parametr	Hodnota
Krouticí moment motoru	$M_m = 1,667 \text{ Nm}$
Otáčky na výstupní hřídeli planetové převodovky motoru	$n_m = 23 \text{ ot / min}$
Převodový poměr převodu ozubeným řemenem	$i = 2,125$
Účinnost převodu ozubeným řemenem	$\eta_{rp} = 0,98$
Vzdálenost od osy hřídele po místo působení síly na víku	$R_{Fo} = 34 \text{ mm}$
Minimální hodnota zatěžující síly na víku	$F_o = 77,4216 \text{ N}$
Úhel mezi nulovou polohou víka a polohou víka při prvním kontaktu s tělem nádoby (viz. Obrázek 54)	$\alpha = 214^\circ$
Úhel mezi nulovou polohou víka a polohou víka při dotyku se zadní stěnou nádoby (viz. Obrázek 54)	$\beta = 94,4^\circ$

Výpočet krouticího momentu M_{kh} na hřídeli vyvolaný motorem a převodem.

$$M_{kh} = M_m * i * \eta_{rp} = 1,667 * 2,125 * 0,98 = 3,47 \text{ Nm} \quad (3)$$

Výpočet maximální vyvolané síly na víku.

$$F_{teoretická} = \frac{M_m * i}{R_{Fo}} * \eta_{rp} = \frac{1,667 * 2,125}{0,034} * 0,98 = 102,103 \text{ N} \quad (4)$$

Porovnání síly vyvolané motorem a potřebné síly pro stlačení materiálu.

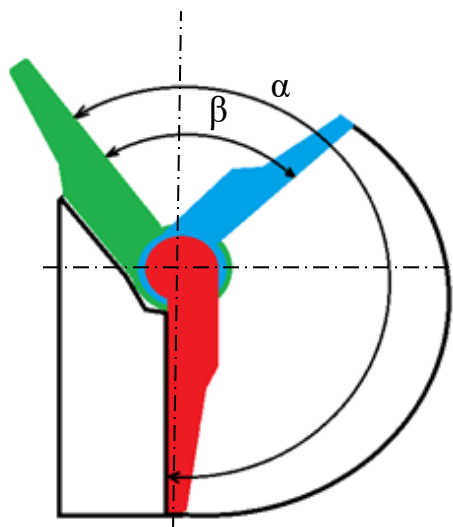
$$F_{teoretická} = 102,103 \text{ N} > F_o = 77,4216 \text{ N} \quad (5)$$

Síla vyvozená motorem je vyšší než potřebná zatěžující síla. Motor jsem vhodně navrhnul. Pro vyšší přesnost si vypočtu bezpečnost zvoleného pohonu k_t .

$$k_t = \frac{F_{teoretická}}{F_o} = 1,319 \quad (6)$$

Motor jsem vhodně navrhnul s bezpečností $k_t = 1,3$.

Čas uzavření nádoby se bude lišit v závislosti na zaplnění nádoby. Pro větší přehlednost jsem si situaci schématicky znázornil.



Obrázek 54 Pozice víka

Tabulka 14 Pozice víka

Poloha víka	Barevné označení
Nulová poloha víka	Zelená
Víko v místě uzavření nádoby	Modrá
Víko při dotyku se zadní stěnou nádoby	Červená
Úhel α =	214°
Úhel β =	94,4°

V souvislosti s využitím ozubeného řemene pro z převodování pohonu, jsem ve výpočtu pracoval i s převodovým poměrem. Použité parametry jsou z tabulky 13 a 14.

$$T_{max} = \frac{\alpha * i * 60}{360 * n_m} = \frac{214 * 2,125 * 60}{360 * 23} = 3,3 \text{ s} \quad (7)$$

$$T_{min} = \frac{\beta * i * 60}{360 * n_m} = \frac{94,4 * 2,125 * 60}{360 * 23} = 1,5 \text{ s} \quad (8)$$

Shrnutí:

- Zvolený motor dle kontroly výše vyhovuje s bezpečností $k_t = 1,3$.
- Čas uzavření nádoby se pohybuje v rozmezí od 1,5 s do 3,3 s. Doba uzavření nádoby je závislá na množství vloženého materiálu.
- Motor a převod ozubeným řemenem vyvolá na hřídeli krouticí moment $M_{kh} = 3,47 \text{ Nm}$

5.2 Kontrola řemenu

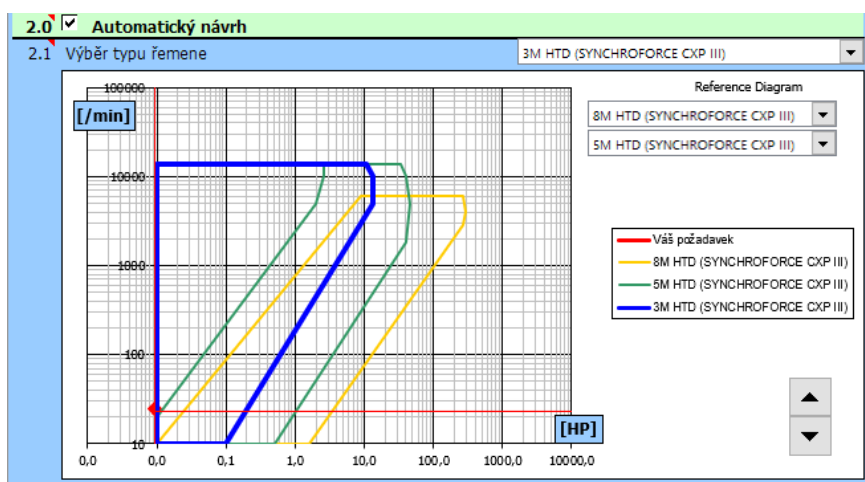
Pro samotnou kontrolu je potřeba zjistit výkon motoru. Ten zjistím výpočtem:

$$P = M * \omega = M_m * (2 * \pi * n_m) = 1,667 * \left(2 * \pi * \frac{23}{60}\right) = 4,02 \text{ W} \quad (9)$$

Samotný řemen budu nakupovat od společnosti TYMA CZ, s.r.o.[35] Kontrolu řemenu provedu v programu MITCalc. Do programu jsem vložil parametry zvolené nebo vypočtené v předchozích částech této práce. Řemen bude ze strany pohonu zatěžován plynulým chodem DC motoru s vestavěnou planetovou převodovkou. (viz. Tabulka 10) Naopak pohyb výstupní hřídel vlivem nárazů víka na odebraný materiál bude rázového charakteru. Celý systém bude pracovat maximálně v jednotkách minut.

1.0 <input checked="" type="checkbox"/> Způsob zatížení, pracovní parametry			
1.1	Jednotky výpočtu	SI Units (N, mm, kW...)	
1.2	Přenášený výkon	P	0,0040 [kW]
1.3	Otáčky řemenice (požadované)	n	23 [1/min]
1.4	Otáčky řemenice (skutečné)	n	23,0 [1/min]
1.5	Převodový poměr požadovaný / skutečný	i	2,125
1.6	Krouticí moment	Mk	1,67 [Nm]
1.7	Typ hnacího stroje (zatížení)	A...Plynulé nebo s malou nerovnoměrností	
1.8	Typ poháněného stroje (zatížení)	H...Rázové zatížení	
1.9	Denní zatížení převodu	A...Méně než 8 hodin	
1.10	Součinitel provozního zatížení	c2	1,7
1.11	Účinnost převodu	eta	98 [%]

Obrázek 55 Kontrola řemene – zadání parametrů provozu



Obrázek 56 Grafické porovnání řemenů rodiny HTD

Z grafického porovnání (viz. Obrázek 56) je patrné porovnání řemenů v rámci jedné rodiny řemenů, a to rodiny HTD. Je vidět, že použitý typ 3M je v rámci rodiny nejvhodnější pro mnou navržený zásobník.

3.0

Návrh a výpočet

3.1

Vybraná šířka synchronního řemene

B

9 / 0,3543

[mm/in]

3.2

Počet zubů řemenice (průměr řemenice) - výběr

z

16 (15,28)

[mm]

3.3

Počet zubů řemenice

z

16

34

3.4

Výpočtový průměr řemenice

Dp

15,279

32,468

[mm]

3.5

Doporučená osová vzdálenost / min-max

C'

38,2

26 - 95

[mm]

3.6

Osová vzdálenost požadovaná / skutečná

C

33,00

33,39

[mm]

3.7

Počet zubů řemene (délka řemene) - výběr

z

48 (144)

[mm]

3.8

Počet zubů řemene / navržený

z

48

48

3.9

Délka řemene / rozteč

Lw/P

144,00

3,000

[mm]

3.10

Návrhový výkon

Pd

0,01

[kW]

3.11

Výkon přenesený řemenem

P'

0,01

[kW]

3.12

Přibližná celková hmotnost

m

0,06

[kg]

3.13

Součinitel využití řemene

SF

0,96

3.14

Nestandardní řešení

3.15

Použít normalizované řemenice

Ano

3.16

Použít normalizované řemeny

Ano

Obrázek 57 Zadání parametrů ozubených řemenic

4.0

Výsledky, koeficienty

4.1

Koeficienty

4.2

- Součinitel provozního zatížení

c2

1,70

4.3

- Součinitel zrychlení

c3

0,00

4.4

- Součinitel délky řemene

c5

0,80

4.5

- Součinitel šířky řemene

c6

1,63

4.6

- Součinitel počtu zubů v záběru

c1

1,00

4.7

- Součinitel převodového poměru

c7

0,00

4.8

- Úhel opásání řemenice

β

150,17

209,83

[°]

4.9

Osová přestavitelnost

4.10

- Pro napínání řemene

x

0,80

[mm]

4.11

- Pro nasazení řemene

y

0,80

[mm]

4.12

Silové poměry, rychlost

4.13

- Rychlost řemene / max. pro daný typ

v

0,02

45

[m/s]

4.14

Výpočet pracovních sil (obecně)

4.15

- Síla v odlehčené větvi v % tahové síly

43,0

43,00

☒ [%]

4.16

- Tahová síla

Fu

218

[N]

4.17

- Předpětí

Fo

203

[N]

4.18

- Síla v zatížené větvi řemenu

F1

312

[N]

4.19

- Síla v odlehčené větvi řemenu

F2

94

[N]

4.20

- Celková radiální síla na hřídel

Fr

396

[N]

4.21

Výpočet pracovních sil (Gates Rubber Company ®)

4.22

- Celková radiální síla na hřídel

Fr

-

[N]

4.23

- Předpětí

Fo

-

[N]

4.24

Výpočet pracovních sil (firma ContiTech ®)

4.25

- Koeficient

k1

1,00

1,00

☒

4.26

- Celková radiální síla na hřídel

Fr

253

[N]

4.27

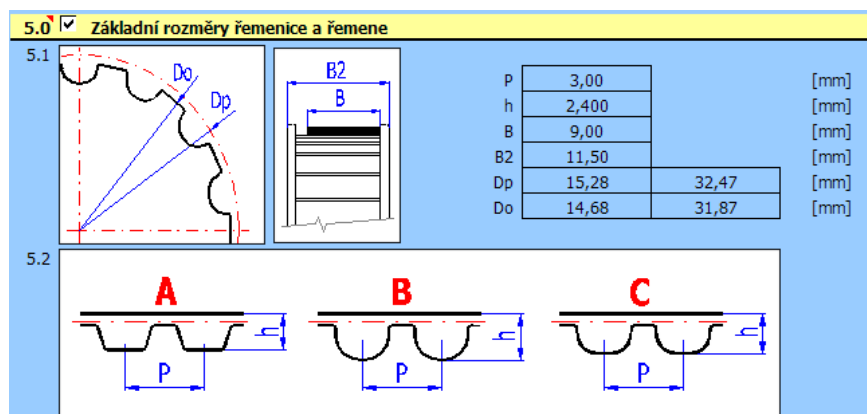
- Předpětí

Fo

131

[N]

Obrázek 58 Výsledky provedené kontroly



Obrázek 59 Základní rozměry ozubených řemenic č.1

6.4	Textový popis (Informace pro kusovník)	Řemenice1
	Řádek 1 (Kusovník atribut 1)	Řemenice 3M HTD
	Řádek 2 (Kusovník atribut 2)	z=16; Dp=15,28; B=11,5
	Řádek 3 (Kusovník atribut 3)	3M HTD (SYNCHROFORCE CXP III)
	Řádek 1 (Kusovník atribut 1)	Řemenice2
	Řádek 2 (Kusovník atribut 2)	Řemenice 3M HTD
	Řádek 3 (Kusovník atribut 3)	z=34; Dp=32,47; B=11,5
		3M HTD (SYNCHROFORCE CXP III)
	Řádek 1 (Kusovník atribut 1)	Řemen
	Řádek 2 (Kusovník atribut 2)	Řemen 3M HTD
	Řádek 3 (Kusovník atribut 3)	z=48; B=9; L=144
		3M HTD (SYNCHROFORCE CXP III)

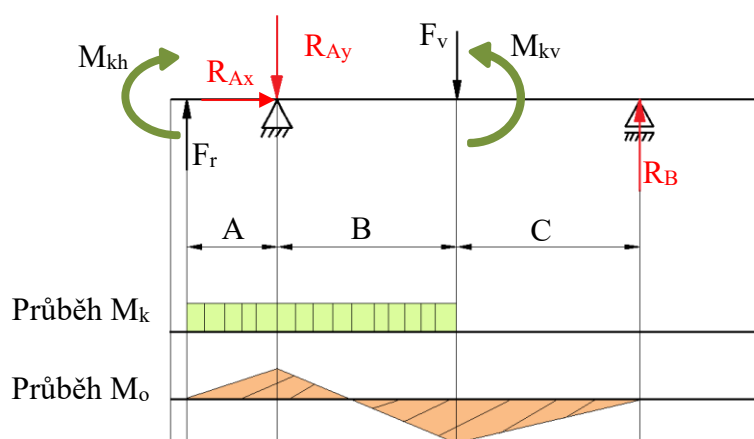
Obrázek 60 Základní rozměry ozubených řemenic č.2

Shrnutí:

- Zvolený převod ozubeným řemenem 3M HTD [35] dle kontroly vyhovuje
- Radiální síla na hřídel od ozubeného řemene je $F_r = 396$ N. Použil jsem maximální dosaženou hodnotu.
- Síla v zatížené větvi řemene je $F_1 = 312$ N

5.3 Kontrola nosné hřídele

Nosnou hřídel budu kontrolovat na krut a ohyb.[38] Jako polotovar jsem zvolil ocelovou kruhovou tyč o průměru $D = 8 \text{ mm}$ z materiálu S355J0 (ČSN 11 523.1) [38]. Pro tento typ oceli se uvádí $R_e = 330 \text{ MPa}$. Protože největší zatížení hřídele je ve chvíli, kdy všechny síly leží v jedné rovině, budu kontrolovat pouze tento případ.



Obrázek 61 Znáznornění působících a reakčních sil

Tabulka 15 Parametry hřídele přenesené na nosník

Krouticí moment vyvolaný motorem a převodem oz. řemenem	$M_{kh} = 3,47 \text{ Nm}$
Radiální síla vyvolaná ozubeným řemenem	$F_r = 396 \text{ N}$
Hodnoty délek	$A = 0,00975 \text{ m}$ $B = 0,03875 \text{ m}$ $C = 0,03775 \text{ m}$
Reakce v ložiscích	R_{Ax}, R_{Ay}, R_B
Momentová reakce víka na moment ve hřídeli	$M_{kv} = M_{kh} = 3,47 \text{ Nm}$

Vypočtu hodnotu síly vyvolané víkem a momentem na hřídeli. Budu počítat s ramenem, na kterém působí tlačná síla víka $R_{Fo} = 0,034 \text{ m}$

$$F_v = \frac{2 * M_{kv}}{R} = \frac{2 * M_{kh}}{R_{Fo}} = \frac{2 * 3,47}{0,034} = 204,12 \text{ N} \quad (10)$$

Základní rovnice rovnováhy

$$\sum F_x = 0 = R_{Ax} \quad (11)$$

$$\sum F_y = 0 = F_r - R_{Ay} - F_v + R_B \quad (12)$$

$$\sum M_{oA} = 0 = F_r * A + F_v * B - R_B * (B + C) \quad (13)$$

Ohybové momenty:

$$\sum M_{oA} = 0 = F_r * A + F_v * B - R_B * (B + C) \quad (13)$$

$$R_B = \frac{F_r * A + F_v * B}{(B + C)} = \frac{396 * 0,00975 + 204,12 * 0,03875}{(0,03875 + 0,03775)} = 153,86 \text{ N} \quad (14)$$

Síly v ose Y:

$$\sum F_y = 0 = F_r - R_{Ay} - F_v + R_B \quad (12)$$

$$R_{Ay} = -F_v + F_r + R_B = -204,12 + 396 + 489,89 = 345,75 \text{ N} \quad (15)$$

Reakce v podpěrách jsou $R_{Ax} = 0 \text{ N}$; $R_{Ay} = 345,75 \text{ N}$; $R_B = 153,86 \text{ N}$

Provedu pevnostní kontrolu hřídele dle Guesta. Výsledkem bude statická bezpečnost hřídele k_h :

$$k_h = \frac{Re}{\sigma_{red}} = \frac{Re}{\sqrt{\sigma_o^2 + 4 * \tau_k^2}} \geq 1,2 \quad (16)$$

Kde:

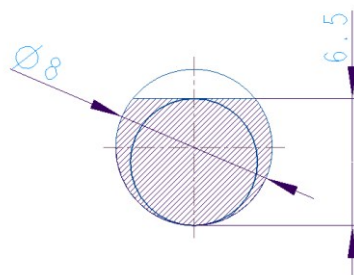
σ_{red} = Redukované napětí

σ_o = Napětí v ohybu

τ_k = Napětí v krutu

$Re = 330 \text{ MPa}$

Provedu výpočet maximálního ohybového momentu. Následně spočítám maximální ohybové napětí. Kvůli D-profilu nám vzniklo na hřídeli zeslabení, proto bud počítat jen s celistvou plochou průřezu. Tím se nám hřídel zmenší na průměr $d = 6,5 \text{ mm}$.



Obrázek 62 Zeslabení hřídele D profilem na průměr $d = 6,5 \text{ mm}$

$$M_{o1} = F_r * A = 396 * 0,00975 = 3,86 \text{ Nm} \quad (17)$$

$$M_{o2} = R_B * C = 153,86 * 0,03775 = 5,80 \text{ Nm} \quad (18)$$

Maximální ohybové napětí:

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{W_o} = \frac{M_{o2}}{\frac{\pi * d^3}{32}} = \frac{5,80}{\frac{\pi * 0,0065^3}{32}} = 215,12 \text{ MPa} \quad (19)$$

Dále provedu výpočet napětí v krutu na hřídeli. Stejně jako v předchozím výpočtu uvažuji zúžení hřídele na $d = 6,5 \text{ mm}$. Maximální krouticí moment na hřídeli známe z výpočtu motoru. Jedná se o moment $M_{kh} = 3,47 \text{ Nm}$. Základní vztah pro kontrolu hřídele na krut je:

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{M_h}{\frac{\pi * d^3}{16}} = \frac{3,47}{\frac{\pi * 0,0065^3}{16}} = 64,35 \text{ MPa} \quad (20)$$

Redukované napětí:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 4 * \tau_k^2} = \sqrt{215,12^2 + 4 * 64,35^2} = 250,95 \text{ MPa} \quad (21)$$

Statická bezpečnost hřídele k_h :

$$k_h = \frac{Re}{\sigma_{red}} = \frac{330}{250,95} = 1,32 \quad (16)$$

Hřídel je dostatečně dimenzovaná pro daný typ úlohy. Z tohoto důvodu je vypočtená bezpečnost $k_h = 1,32$ dostačující.

5.4 Kontrola ložisek

Kontrola ložisek [38] se rozlišuje na dvě skupiny. Na dynamickou a statickou kontrolu ložiska. Statická kontrola se provádí jen v určitých případech. Například, když ložisko koná pouze kyvný pohyb, nebo má velmi nízké otáčky ($n < 10$ ot/min). V mém případě ložisko uskutečňuje kyvný pohyb. Proto provedu statickou kontrolu ložiska.

5.4.1 Ložiska na hřídeli

Pro plynulý pohyb víka jsem použil dvě ložiska 628/8 - 2Z. Ložisko budu kontrolovat větší silou z vypočtených reakcí na hřídeli. Provedu výpočet bezpečnosti ložiska dle vztahu:

$$k_{L1} = \frac{C_{oL1}}{R_B} = \frac{455}{345,75} = 1,32 \quad (22)$$

C_{oL1} = statická únosnost ložiska na hřídeli = 0,455 kN

R_B = vyšší hodnota reakce v radiálním směru

k_{L1} = bezpečnost zvoleného ložiska na hřídeli

5.4.2 Ložiska na napínací kladce

Pro správné napnutí ozubeného řemenu jsem použil dvě ložiska 623 - 2Z. Nejprve vypočtu radiální sílu vyvozenou řemenem dle vztahu (23). Radiální sílu F_{roz} následně porovnám se statickou únosností ložiska. Tak získám bezpečnost ložiska:

$$F_{roz} = 2 * F_1 * \sin \frac{\delta}{2} = 2 * 312 * \sin \frac{30}{2} = 161,5 \text{ N} \quad (23)$$

$$k_{L2} = \frac{C_{oL2}}{F_{roz}} = \frac{180}{161,5} = 1,11 \quad (24)$$

C_{oL2} = statická únosnost ložiska = 0,18 kN

F_{roz} = hodnota napínací síly řemenu

k_{L2} = bezpečnost zvoleného ložiska pro napínání řemene

F_1 = síla v řemeni (maximální)

δ = maximální úhel opásání ložiska napínací kladky = 30°

Dle provedené kontroly ložisek je zřejmé, že ložiska byla vhodně navrhnutá s dostatečnou bezpečností.

5.5 Výpočet maximální spotřeba energie

K samotnému napájení nádob jsem využil dvě různá napětí, a to 12 V a 5 V.

Tabulka 16 Hodnoty spotřeby proudu pro jeden zásobník

Součástka	Hodnota napětí	Hodnota proudu	Výstupní parametr
Senzor hmotnosti	5 V	4,5 mA	2x analog.
A/D převodník HX711		1,5 mA	2x digitál.
Kapacitní vlhkoměr		80 mA	1x analog.
Magnetický enkodér AS5600		100 mA	1x analog.
DC motor s planetovou převodovkou	12 V	1,1 A (100 mA nezátížen)	
Driver MAX14870		[-]	1x PWM
Arduino NANO		40 mA (I/O Pin / analog pin)	1x I2C
Arduino UNO (hlavní Arduino)		20 mA (I/O Pin)	USB

Jednoduchým sečtením získáme maximální odběr proudu pro jednotlivé linky napětí jednoho zásobníku. Toto napětí odpovídá současnému měření a uzavírání nádoby.

$$I_{5V} = 4,5 + 1,5 + 80 + 100 = 186 \text{ mA} \quad (25)$$

$$I_{12V} = 1100 + 40 * 6 + 20 = 1360 \text{ mA} = 1,36 \text{ A} \quad (26)$$

Hodnoty pro celé zařízení je třikrát vyšší.

$$I_{5VC} = 186 * 3 = 558 \text{ mA} \quad (27)$$

$$I_{12VC} = 1360 * 3 = 4080 \text{ mA} = 4,08 \text{ A} \quad (28)$$

Maximální odběr celého zařízení je tedy:

- pro 5 V linku = 1,36 A
- pro 12 V linku = 4,08 A

6 Cenový rozpočet

Cenový rozpočet celého systému je rozdělen do tří částí (nakupované díly, díly vyráběné 3D tiskem a třískovým obráběním). Pro jednotlivé díly je vždy uveden počet potřebný pro stavbu celého systému. Dále cena za jeden kus a celková cena za všechny potřebné kusy. Na konci tabulky je celková cena celého zařízení.

Tabulka 17 Cenový náhled

Druh dílu	Díl/Součástka	Počet kusů [-]	Cena za Kus [Kč]	Celková cena [Kč]
Nakupované díly	Váhový senzor	3	79,-	237,-
	A/D převodník HX711	3	39,-	117,-
	Kapacitní snímač vlhkosti	3	185,-	555,-
	Magnetický snímač natočení AS5600	3	143,3,-	430,-
	DC motor s planetovou převodovkou a poměrem 227:1	3	506,6,-	1520,-
	Driver MAX14870	3	150,-	450,-
	Arduino NANO	3	249,-	747,-
	Arduino UNO	1	299,-	299,-
	Ložisko 628/8 - 2z	6	22,-	132,-
	ložisko 623 - 2Z	6	14,-	84,-
	Řemen 3M HTD 9 mm L= 144 mm	3	181,-	543,-
	Item 20x20 – 620 mm	1	Cena za 1 m délky = 400,- Celková délka 1,2 m Nákup 2 m délky za 800,-	
	Item 20x20 – 200 mm	2		
	Item 20x20 – 60 mm	1		
	Item 20x20 – 120 mm	1		
	Úhelníky pro Item 20x20	9	61,-	549,-
	Spojovací materiál + kabeláž	[-]	[-]	300,-
	konektory	6	10,-	60,-
Vyráběné díly třískovým obráběním	Nosná hřídel	3	120,-	360,-
	Krycí plechy držáku	2	50,-	100,-
Vyráběné díly 3D tiskem	12 součástí (1 nádoba) – celkem 350 g materiálu	3	140,-	420,-
Odhad ceny celkového systému (3 zásobníků a držáku)				7703,-

7 Závěr

Bakalářská práce se zabývala konstrukčním návrhem nádob pro analýzu půdního vzorku pro robot K3P4. Provedl jsem rešerši různých systémů zabývajících se podobnou problematikou. Po vyhodnocení pravidel a po dohodě s vedoucím práce jsem se rozhodl pro variantu tří oddělených zásobníků.

Postupně jsem navrhnul 3 typy konstrukce. V této práci jsou seřazeny chronologicky podle času jejich vzniku. Každý typ měl své výhody i nevýhody. S pomocí kritériální analýzy jsem nakonec vybral vhodnou variantu. Tento vybraný návrh jsem následně rozpracoval a provedl několik změn. Samotné nádoby jsem doplnil o společný držák, ten bude umístěn na rover na přední straně tak, aby manipulační rameno mělo do nádob přístup.

Po dokončení úprav jsem provedl kontrolní výpočty, které potvrdili správnost návrhu hlavních částí nádoby. Mezi tyto části se řadí hlavní nosná hřídel, převod ozubeným řemenem, samotný pohon nádoby a kontrola ložisek.

Na samotný závěr práce jsem zařadil cenový rozpočet na možnou výrobu celého zařízení. Výsledná cena je nakonec nižší než původně odhadovaná. V čase odevzdání bakalářské práce již započala výroba 3D tištěných dílů pro sestavení jednoho kusu zásobníku. Tento jeden kusu bude použit pro testování, na jeho základě se tým RoverOva rozhodne, zda tyto nádoby pro analýzu odebraného vzorku, bude chtít vyrábět.

Dodržené omezení z požadavkového listu

- Systém se skládá ze tří od sebe oddělených nádob
- Nádoby jsou odnímatelné a jsou umístěné na společném držáku
- Nádobu dokáže pojmout až 330 g vzorku
- Uzavíratelnost nádoby je řešena otočným víkem a gumovou stěrkou
- Každá nádoba je označena číslem, aby nedošlo k záměně odebraného vzorku
- Každý zásobník je vybaven senzory, které snímají objem, hmotnost a vlhkost
- Připojovací rozměry byli přizpůsobeny roveru K3P4

Nedodržené omezení z požadavkového listu

- Hmotnost modelu v programu CREO je vyšší, než byla původně zadána.

Hmotnost celého systému dle programu CREO je 3.6 kg (navýšení o 0,6 kg)

Možné řešení je použít při 3D tisku nádob vnitřní strukturování, a tím snížit celkovou hmotnost.

8 Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Robertu Pastorovi za čas, pozornost a odborné rady s přípravou bakalářské práce. Současně děkuji týmu RoverOva za příležitost zpracovat toto téma do podoby bakalářské práce. Dále děkuji své rodině a přátelům za jejich podporu a trpělivost.

9 Seznam použitých zdrojů

- [1] European Rover Challenge (ERC): Rules - for student. *European Rover Challenge (ERC): Register for teams* [online – pdf.]. Kielce, Poland, 2020, 27.01.2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://drive.google.com/file/d/1QK-eHO4zAySQ9jRCbzsc9qRgN-F9gWtm/view>
- [2] Rover K3P4: European Rover Challenge 2019. In: *RoverOva: Galery* [online]. Ostrava, 2019 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <http://rover.vsb.cz/assets/images/12-m-2000x1333.jpg>
- [3] Rover K3P4 - Odběr vzorku: European Rover Challenge 2019. In: *RoverOva: Galery* [online]. Ostrava, 2019 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <http://rover.vsb.cz/assets/images/13-m-2000x1333.jpg>
- [4] Rover K3P4 - Odběr vzorku vrtáním: European Rover Challenge 2019. In: *RoverOva: Galery* [online]. Ostrava, 2019 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <http://rover.vsb.cz/assets/images/15-m-842x693.jpg>
- [5] Fotografie Marsu pořízená sondou Phoenix: Odběr půdy lopatkou. In: *Wikipedie: Phoenix (sonda)* [online]. 2008 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/98/Phoenix_Scoop.jpg/1280px-Phoenix_Scoop.jpg
- [6] Lopatka sondy Curiosity: Odběr půdy lopatkou. In: *Space.com: Curiosity Rover to Eat Mars Rock Dust After Drilling Success* [online]. Mike Wall, 2013, 20.2.2013 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://cdn.mos.cms.futurecdn.net/JRrmMpYxjUnVPZyDyziDzg-650-80.jpg>
- [7] Vrták Curiosity. In: *Kosmonautix.cz: Už devět vrtů Curiosity na Marsu* [online]. Martin Gembec, 2015, 26.11.2015 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://i1.wp.com/www.kosmonautix.cz/wp-content/uploads/sol281cumberland.jpg?resize=300%2C300&ssl=1>
- [8] Vrtání na Marsu. *Kosmonautix.cz: Už devět vrtů Curiosity na Marsu* [online]. Martin Gembec, 2015, 26. listopadu 2015 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://www.kosmonautix.cz/2015/11/uz-devet-vrtu-curiosity-na-marsu/>
- [9] Planet Vac - systém pro odběr povrchových vzorků. *Honeybee Robotics: Planet Vac* [online]. Brooklyn, NY, USA, 2018 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://honeybeerobotics.com/portfolio/planetvac/>
- [10] 3D model - Planet Vac. In: *Honeybee Robotics: Planet Vac* [online]. Brooklyn, NY, USA, 2018 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://honeybeerobotics.com/wp-content/uploads/2013/10/PlanetVac-2018-775x436.png>

- [11] Konstrukce - Planet Vac. In: *Honeybee Robotics: Planet Vac* [online]. Brooklyn, NY, USA, 2018 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://honeybeerobotics.com/wp-content/uploads/2018/06/PlanetVac2-775x684.png>
- [12] Nádobá od týmu OzU Rover 2019 ERC: Výstřižek z videa 2:03 min. In: *OzU Rover Team | European Rover Challenge 2019 Promotional Video* [YouTube]. Ozu Rover, 2019, 1.8.2019 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=OCSoxIsK3Kg&t=1s>
- [13] Nádobá od týmu IMPULS 2019 URC: Výstřižek z videa 3:02 min. In: *SAR URC 2019 IMPULS Team* [YouTube]. Mars Rover IMPULS TEAM, 2019, 28. 2. 2019 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=AgTGDmGdRLE&t=182s>
- [14] Nádobá pro rover Perseverance 2020. In: *NASA Science Mars Exploration Program: Mars Sample Return Orbiting Sample Container Concept Model* [online]. 2020, 25.2. 2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://mars.nasa.gov/system/resources/detail_files/24911_PIA23712-web.jpg
- [15] Mars Sample Return Orbiting Sample Container Concept Model. *NASA Science: Mars Exploration Program* [online]. 2020, 25.2. 2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/resources/24911/mars-sample-return-orbiting-sample-container-concept-model/>
- [16] Uchování vzorků materiálu z Měsíce. *Kosmonautix.cz: Vědci se dostanou k zapečetěným vzorkům z Měsíce* [online]. Dušan Majer, 2019, 15. března 2019 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://www.kosmonautix.cz/2019/03/vedci-se-dostanou-k-zapecetenym-vzorkum-z-mesice/>
- [17] Rentgenové snímky vzorku 73002. In: *Kosmonautix.cz: Vědecký dárek čeká na rozbalení – vzorky z Měsíce* [online]. Dušan Majer, 2019, 27. prosince 2019 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://i0.wp.com/www.kosmonautix.cz/wp-content/uploads/two_samples_together_slide_w_credits-1.jpg?ssl=1
- [18] Zemina: Dělení sypkých hmot. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020, 28.10. 2018 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Zemina>
- [19] *Systém pro ukládání vzorků půdy* [online - pdf.]. Ostrava, 2019 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/136970/BEM0008_FS_B2341_2301R013_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky. Vedoucí práce Ing. Robert Pastor.

- [20] *Únavové Vlastnosti Konstrukční Oceli 11 523.1: materiálu S355J0 (ČSN 11 523.1)* [online - pdf.]. BRNO, 2012 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30292831.pdf>. Bakalářská práce. Vysoké Učení Technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav materiálových věd a inženýrství. Vedoucí práce Prof. Ing. STANISLAV VĚCHET, CSc.
- [21] Váhový senzor 1kg. In: *GM electronic, spol. s.r.o.* [e-shop]. 2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://www.gme.cz/data/product/480_480/pctdetail.775-018.1.jpg?ts=1510202947
- [22] Modul pro váhové senzory s HX711: A/D převodník. In: *GM electronic, spol. s.r.o.* [e-shop]. 2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://www.gme.cz/data/product/480_480/pctdetail.775-019.1.jpg?ts=1510211671
- [23] Váhový senzor 1kg: Specifikace produktu. In: *Arduino-shop.cz* [e-shop]. 2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/2205-vahovy-senzor-1kg.html>
- [24] Kapacitní senzor vlhkosti půdy odolný proti korozi V1.2: Obrázek. In: *Pájeničko.cz* [e-shop]. 2019 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://pajenicko.cz/image/cache/catalog/komponenty/senzory/vlhkopudomer/cap_soil_moist_over-500x500.jpeg
- [25] Půdní vlhkoměr analogový s antikorozi sondou V1.2: Specifikace produktu. In: *Arduino-shop.cz* [e-shop]. 2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/4875-pudni-vlhkometer-analogovy-s-antikorozni-sondou-v1.2.html>
- [26] Magnetický bezkontaktní enkodér (AS5600): Obrázek. In: *Seeedstudio.com: Grove - 12-bit Magnetic Rotary Position Sensor / Encoder (AS5600)* [e-shop]. 2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://static-cdn.seeedstudio.site/media/catalog/product/cache/ab187aaa5f626ad16c8031644cd2de5b/g/r/grove-12-bit-magnetic-rotary-sensor-as5600-preview.jpg>
- [27] Magnetický bezkontaktní enkodér (AS5600): Obrázek - zadní strana. In: *Seeedstudio.com: Grove - 12-bit Magnetic Rotary Position Sensor / Encoder (AS5600)* [e-shop]. 2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://raw.githubusercontent.com/SeeedDocument/Grove-12-bit-Magnetic-Rotary-Position-Sensor-AS5600/master/img/magenic.jpg>
- [28] Magnetický bezkontaktní enkodér (AS5600): Technická specifikace. In: *Mouser Electronics: Grove - 12-bit Magnetic Rotary Position Sensor / Encoder (AS5600)* [e-shop]. Brno, 2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://cz.mouser.com/ProductDetail/Seeed-Studio/101020692?qs=XeJtXLiO41TFDaGgMZw0oQ%3D%3D>

- [29] 227:1 Metal Gearmotor 25Dx56L mm LP 12V: Obrázek. In: *Polulu.com: Motors and Gearboxes* [e-shop]. Las Vegas, USA, 2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://a.pololu-files.com/picture/0J2644.600x480.jpg?d126a93259b960b5871ae3efea0c65de>
- [30] 227:1 Metal Gearmotor 25Dx56L mm LP 12V: General specifications. *Polulu.com: Motors and Gearboxes* [e-shop]. Las Vegas, USA, 2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/product/3257/specs>
- [31] MAX14870 Single Brushed DC Motor Driver Carrier: General specifications. *Polulu.com: Motion Control Modules* [e-shop]. Las Vegas, USA, 2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/product/2961/specs>
- [32] MAX14870 Single Brushed DC Motor Driver Carrier: Obrázek. In: *Polulu.com: Motion Control Modules* [e-shop]. Las Vegas, USA, 2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://a.pololu-files.com/picture/0J6498.600x480.jpg?ec27>
- [33] Arduino NANO: Obrázek. In: *Store.arduino.cc* [e-shop]. 2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://store-cdn.arduino.cc/uni/catalog/product/cache/1/image/520x330/604a3538c15e081937dbfbd20aa60aad/A/0/A000005_featured_2.jpg
- [34] Arduino NANO: Technická specifikace. *Store.arduino.cc* [e-shop]. 2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/arduino-nano>
- [35] Ozubený řemen HTD 3M-144-9: Technická specifikace. *TYMA CZ, s.r.o.: Ozubený řemen HTD* [e-shop]. Trmice ČR, 2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://www.tyma.cz/produkty/ozubene-remeny/htd/3m/3m-144-9/>
- [36] Ložisko 628/8-2Z: Technická specifikace. *SKF.com* [e-shop]. 2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-628%2F8-2Z?system=metric>
- [37] Ložisko 623-2Z: Technická specifikace. *SKF.com* [e-shop]. 2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-623-2Z>
- [38] ČÁSTI A MECHANISMY STROJŮ: pro 2. a 3. ročník bakalářského studia [online - pdf.]. Ostrava: doc. Ing. Květoslav Kaláb, Ph.D., 2016 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://lms.vsb.cz/pluginfile.php/846380/mod_resource/content/1/E-PDF_HESLO%20od%2026.1.2018.pdf

10 Přílohy

Příloha A – Výkresy (5 ks)

Příloha B – Živé modely navrženého systému